

**UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**



**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOOCTANO A PARTIR  
DE LA FRACCIÓN C<sub>4</sub> DEL PETRÓLEO**

Samuel Fragua Somoza

Julio 2017

# **ÍNDICE GENERAL**

## **Documento I. Memoria**

- Anexo I: Balances de materia y energía
- Anexo II: Cálculos justificativos
- Anexo III: Análisis de viabilidad económica
- Anexo IV: Fichas de seguridad

## **Documento II. Planos**

- Plano 1: Emplazamiento
- Plano 2: Diagrama de flujo
- Plano 3: Diagrama de instrumentación y tuberías
- Plano 4: Implantación
- Plano 5: Reactor de alquilación R-201

## **Documento III. Pliego de condiciones**

## **Documento IV. Estudios con entidad propia**

## **Documento V. Presupuesto**

---

# DOCUMENTO I: MEMORIA

---

Planta de producción de isooctano

# ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	OBJETO .....	7
2.	ALCANCE .....	8
3.	JUSTIFICACIÓN .....	8
4.	ANTECEDENTES .....	9
4.1.	Isooctano.....	9
4.1.1.	Características generales del isooctano .....	10
4.1.2.	Propiedades físicas del isooctano .....	10
4.1.3.	Propiedades químicas del isooctano .....	11
4.1.4.	Propiedades termodinámicas del isooctano .....	11
4.2.	Aplicaciones del isooctano .....	12
4.3.	Análisis de mercado .....	16
4.3.1.	Evolución del mercado .....	16
4.3.2.	Proyección del precio del isooctano .....	19
4.3.3.	Análisis de subproductos .....	20
5.	ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ISOCTANO.....	23
5.1.	Dimerización de isobutano e hidrogenación .....	23
5.1.1.	Dimerización catalítica del isobutano.....	24
5.1.2.	Hidrogenación catalítica .....	25
5.2.	Alquilación de parafinas.....	26
5.2.1.	Alquilación térmica de parafinas .....	27
5.2.2.	Alquilación catalítica de parafinas.....	27
5.2.2.1	Ácido Sulfúrico .....	30
5.2.2.2	Ácido fluorhídrico .....	33
5.2.2.3	Catalizadores sólidos .....	36
5.3.	Justificación de la elección .....	37
5.4.	Viabilidad técnica .....	38
6.	EMPLAZAMIENTO .....	39
6.1.	Ubicación de la planta .....	39
6.2.	Comunicación.....	41
6.3.	Clima .....	41
7.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	43
7.1.	Capacidad de producción .....	43
7.2.	Materias primas .....	43
7.2.1.	Propano.....	44



7.2.1.1 Características.....	44
7.2.1.2 Aplicaciones .....	45
7.2.2. Butano.....	46
7.2.2.1 Características.....	46
7.2.2.2 Aplicaciones .....	47
7.2.3. Isobutano .....	48
7.2.3.1 Características.....	48
7.2.3.2 Aplicaciones .....	49
7.2.4. Buteno.....	50
7.2.4.1 Características.....	50
7.2.4.2 Aplicaciones .....	51
7.2.5. Fracción C <sub>4</sub> del petróleo .....	52
7.2.5.1 Características.....	52
7.2.5.2 Proceso de obtención .....	53
7.3. Subproductos .....	55
7.3.1. Dodecano .....	56
7.3.1.1 Características.....	56
7.3.1.2 Aplicaciones .....	57
7.4. Catalizador.....	58
7.4.1. Características.....	58
7.5. Servicios auxiliares.....	59
7.5.1. Vapor de agua.....	59
7.5.2. Agua de refrigeración .....	59
7.5.3. Electricidad.....	60
7.5.4. Agua de uso general .....	60
7.5.5. Gas natural.....	60
7.5.6. Inertes .....	60
7.5.7. Agua contraincendios .....	60
7.5.8. Aire comprimido.....	60
7.6. Descripción del proceso .....	61
7.6.1. Régimen de operación .....	61
7.6.2. Sección 100: Acondicionamiento de materias primas .....	61
7.6.3. Sección 200: Reacción y tratamiento del ácido sulfúrico.....	62
7.6.4. Sección 300: Purificación del vapor y purga de propano .....	62
7.6.5. Sección 400: Purificación del isooctano.....	63
8. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	64
8.1. Sección 100: Acondicionamiento de materias primas.....	65

8.1.1.	Tanque de almacenamiento TK-101.....	65
8.1.2.	Tanque pulmón TK-102 .....	65
8.1.3.	Tanque de mezcla TM-101 .....	66
8.1.4.	Válvula VLV-101 .....	66
8.1.5.	Intercambiador de calor EX-101 .....	66
8.2.	Sección 200: Reacción y tratamiento de ácido sulfúrico .....	67
8.2.1.	Reactor R-201 .....	67
8.2.1.1.	Carcasa .....	67
8.2.1.2.	Agitadores .....	67
8.2.1.3.	Compartimentos .....	67
8.2.1.4.	Cabezales.....	68
8.2.2.	Tanque TK-201.....	70
8.2.3.	Bomba P-201 A/B .....	70
8.2.4.	Tanque de almacenamiento TK-202.....	70
8.3.	Sección 300: Purificación del vapor y purga de propano .....	71
8.3.1.	Compresor C-301 .....	71
8.3.2.	Intercambiador de calor EX-301 .....	71
8.3.3.	Bomba P-301 .....	71
8.3.4.	Intercambiador de calor EX-302 .....	71
8.3.5.	Intercambiador de calor EX-303 .....	72
8.3.6.	Columna de destilación T-301 .....	72
8.3.7.	Intercambiador de calor EX-306 .....	72
8.3.8.	Turbina TB-301 .....	73
8.4.	Sección 400: Purificación del producto.....	73
8.4.1.	Bomba P-401 .....	73
8.4.2.	Intercambiador de calor EX-401 .....	73
8.4.3.	Intercambiador de calor EX-402 .....	73
8.4.4.	Columna de destilación T-401 .....	74
9.	CONTROL E INSTRUMENTACIÓN.....	75
9.1.	Introducción.....	75
9.2.	Objetivos.....	75
9.3.	Elementos de una lazo de control .....	76
9.3.1.	Instrumentación .....	76
9.3.1.1.	Indicador de caudal .....	77
9.3.1.2.	Indicador de presión .....	77
9.3.1.3.	Indicador de temperatura.....	77
9.3.1.4.	Indicador de nivel.....	77

9.3.1.5.	Indicador de concentración.....	77
9.4.	Control.....	78
9.5.	Nomenclatura .....	78
9.6.	Lazos de control .....	80
9.6.1.	Sección 100: Acondicionamiento de materias primas .....	80
9.6.1.1.	Lazo de control LIC-101 .....	80
9.6.1.2.	Lazo de control LIC-104 .....	81
9.6.1.3.	Lazo de control LIC-105/106/107 .....	81
9.6.1.4.	Lazo de control LIC-110 .....	82
9.6.1.5.	Lazo de control TIC-113 .....	83
9.6.2.	Sección 200: reacción y tratamiento de ácido sulfúrico .....	84
9.6.2.1.	Lazo de control LIC-201/ LIC 213.....	84
9.6.2.2.	Lazo de control PIC-202/PIC-205/PIC-209 .....	85
9.6.2.3.	Lazo de control FIC-217 .....	85
9.6.3.	Sección 300: Purificación del vapor y purga de propano .....	86
9.6.3.1.	Lazo de control PIC-301 .....	86
9.6.3.2.	Lazo de control FIC-302 .....	87
9.6.3.3.	Lazo de control TIC-303 .....	88
9.6.3.4.	Lazo de control TIC-311/TIC-407 .....	88
9.6.3.5.	Lazo de control TIC-313/TIC-409 .....	89
9.6.3.6.	Lazo de control PIC 314/PIC-410 .....	90
9.6.3.7.	Lazo de control LIC-315/LIC-411 .....	90
9.6.3.8.	Lazo de control TIC-320/TIC-414 .....	91
9.6.3.9.	Lazo de control LIC-321/LIC-415 .....	91
9.6.3.10.	Lazo de control TIC-324 .....	92
9.6.4.	Sección 400: Purificación del isooctano.....	93
9.7.	Indicadores y alarmas .....	93
9.7.1.	Indicadores .....	93
9.7.2.	Alarmas.....	95
10.	NORMATIVA, LEGISLACIÓN Y CÓDIGOS DE DISEÑO .....	96
10.1.	Normas.....	96
10.1.1.	Normas de edificación .....	96
10.1.2.	Normas se seguridad y salud .....	96
10.1.3.	Otras normas.....	97
10.2.	Legislación.....	97
10.2.1.	Legislación relativa a la construcción.....	97
10.2.2.	Legislación relativa a la electricidad .....	97

10.2.3.	Legislación relativa a la Prevención de Riesgos Laborales, Seguridad e Higiene .....	98
10.2.3.1	Principios generales .....	98
10.2.3.2.	Prevención de riesgos laborales.....	98
10.2.3.3	Seguridad y Salud.....	98
10.2.3.4	Higiene .....	99
10.2.4.	Legislación relativa al medio ambiente .....	99
10.2.4.1	Emisiones atmosféricas .....	99
10.2.4.2	Gestión de residuos.....	100
10.2.4.3	Contaminación acústica.....	100
10.2.4.4	Impacto ambiental .....	101
10.3.	Códigos de diseño.....	101
10.3.1.	Códigos generales.....	101
11.	SEGURIDAD EN EL DISEÑO Y EN LA OPERACIÓN .....	102
11.1.	Introducción.....	102
11.2.	Clasificación de la instalación .....	102
11.2.1.	Inventario de sustancias.....	102
11.2.2.	Clasificación Seveso.....	105
11.3.	Clasificación de las sustancias.....	106
11.4.	Estudio de reactividad descontrolada .....	108
11.5.	Válvulas de alivio .....	110
11.6.	Implantación .....	111
11.6.1.	Introducción.....	111
11.6.2.	Bloques de la planta.....	111
11.6.3.	Distancia entre equipos.....	112
11.7.	Índice DOW de Incendio y explosión.....	115
12.	BIBLIOGRAFÍA .....	121

## 1. OBJETO

El objeto del presente proyecto es el diseño de una planta de producción de isooctano a partir de la fracción C<sub>4</sub> del petróleo por alquilación. La planta opera en régimen continuo durante 333 días/año con el fin de satisfacer una demanda de 15.000 t/año.

## 2. ALCANCE

La realización del proyecto se basa en llevar a cabo un análisis de viabilidad técnica y económica de la planta. Para su consecución, se estudian, en primer lugar, las alternativas de producción en busca de la óptima y se analizan las materias primas necesarias y los productos y subproductos generados.

Tras ello, se procede al diseño de la planta mediante la selección de los equipos necesarios para el proceso y el desarrollo de los balances de materia y energía individuales, así como el global. El reactor de alquilación constituye el principal equipo de diseño, al cual, mediante un análisis detallado y un estudio completo del sistema reactivo, se dimensiona, diseña mecánicamente, se establece un sistema de control, medidas de seguridad y se presenta en un plano. Se completa el capítulo con el desarrollo del resto de unidades.

Complementando esta información, se presentan los diagramas de la planta y los planos de ubicación y emplazamiento. Finalmente, comentar que todo el estudio se realiza en función de la legislación y normativa vigentes y se adjunta, relacionado con ello, un estudio de seguridad y salud y un análisis del impacto ambiental de la planta.

## 3. JUSTIFICACIÓN

La dependencia de la gasolina que presentan las sociedades actual y, previsiblemente, futura fundamenta la selección de la temática de este proyecto. Para su elaboración se precisan una serie de aditivos que mejoran sus propiedades y permiten reducir las emisiones contaminantes que genera su utilización como combustible. Uno de estos compuestos es el isooctano y presenta la función antidetonante, definida como la capacidad para retardar la detonación prematura de los combustibles en los motores de explosión.

Además, en la planta de producción de isooctano se generan también propano y butano como subproductos, compuestos con amplia salida en el mercado, aumentando el beneficio.

Con todo ello, se define la planta de producción de isooctano como una instalación anexa a una refinería de la que se obtiene la corriente C<sub>4</sub> y que recibe el isooctano producido para añadir a la gasolina así como el propano y el butano.

## 4. ANTECEDENTES

### 4.1. ISOOCTANO

El isooctano es un isómero estructural del octano, es decir, un alcano ramificado. Esta isoparafina, representada en la Figura 4.1, está constituida por 8 átomos de carbono y 18 de hidrógeno, es decir, su fórmula molecular es C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>.

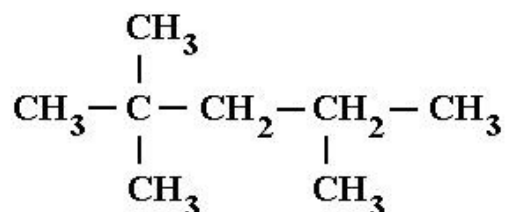


Figura 4.1. Fórmula molecular del isooctano

Se encuentra en la naturaleza en los yacimientos petrolíferos pero en pequeña proporción y mezclado junto con otros hidrocarburos. Por ello, la principal vía de obtención es su síntesis en plantas industriales. Comentar, referido a ello, el proceso de alquilación, en el cual, mediante la reacción entre olefinas comprendidas entre C<sub>3</sub> - C<sub>5</sub> e isoparafinas del intervalo iC<sub>4</sub> - iC<sub>6</sub>, en presencia de un ácido fuerte como catalizador, se obtiene un hidrocarburo de mayor peso molecular (McKetta, 1977).

Así se obtuvo, inicialmente, el isooctano junto con otros productos de alquilación en los años 30 con el objetivo de su utilización para producir combustibles de elevado octanaje durante la Segunda Guerra Mundial. El objetivo era mejorar la calidad de la gasolina después de que, Graham Edgar, en 1926, añadiera heptano e isooctano, en diferentes muestras, al combustible y comprobara sus diferencias en el momento de la detonación (Schifter, y otros, 1998). Con el paso del tiempo se produjeron numerosos cambios en el proceso en lo referido a equipos utilizados, condiciones de operación y catalizadores pero, en la actualidad, la principal alternativa de producción de isooctano sigue siendo la alquilación de olefinas con isoparafinas, ambas de bajo peso molecular (Hommeltoft, 2001).

Destacar del compuesto su nivel 100 en la escala de potencial antidetonante (siendo el heptano el 0), característica que fundamenta su utilización en el mezclado de gasolinas (*blending*). Comentar también que se trata de un compuesto orgánico que se encuentra como líquido a condiciones ambientales. Es altamente inflamable, presenta una reactividad baja y es inmiscible en agua.

A continuación se procede a una presentación de sus propiedades (Elvers, 1989).

#### 4.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ISOOCTANO

En primer lugar, de manera introductoria, se presentan en la Tabla 4.1 las características generales del isooctano.

Tabla 4.1. Características generales del isooctano

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>Nomenclatura IUPAC</b>	2,2,4-trimetilpentano
<b>Nombre común</b>	Isooctano
<b>Fórmula molecular</b>	$C_8H_{18}$
<b>Fórmula empírica</b>	$C_4H_9$
<b>Numero CAS</b>	540-84-1
<b>Estado (1 atm y 25°C)</b>	Líquido
<b>Color</b>	Incoloro
<b>Olor</b>	Similar a gasolina

#### 4.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ISOOCTANO

Se continúa con la exposición de las propiedades físicas del isooctano en la Tabla 4.2

Tabla 4.2. Propiedades físicas del isooctano

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Peso molecular, g/mol</b>	114,3
<b>Densidad del líquido (20°C), <math>kg/m^3</math></b>	691,9
<b>Punto de ebullición, K</b>	372,4
<b>Punto de fusión, K</b>	165,8
<b>Índice de refracción, <math>n_D^{25}</math></b>	1,39
<b>Temperatura crítica, K</b>	548,8
<b>Presión crítica, MPa</b>	2,54
<b>Volumen crítico, <math>cm^3/g</math></b>	3,95
<b>Conductividad térmica (20°C), <math>mW/(m.K)</math></b>	115,0
<b>Viscosidad dinámica (20°C), <math>\mu Pa/s</math></b>	503,2
<b>Tensión superficial (20°C), <math>mN/m</math></b>	18,77



#### 4.1.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ISOOCTANO

El isooctano, al igual que el resto de hidrocarburos saturados, presenta baja reactividad por la elevada energía de activación que precisa para romper los enlaces entre el carbono y el hidrógeno. Esto propicia que las reacciones ocurran de manera lenta salvo que las condiciones de presión y temperatura sean muy elevadas o se utilice un catalizador, es decir, no se desarrollen de manera espontánea.

Por tanto, se considera un compuesto estable tanto a condiciones ambientales como a condiciones previsibles de uso y almacenamiento reduciéndose su reactividad, principalmente, a agentes oxidantes y reductores fuertes.

El principal problema de este compuesto es su elevada inflamabilidad en aire, lo que provoca que sea necesario un control riguroso de las condiciones de operación para evitar la presencia de oxígeno y una fuente de ignición, es decir, la posibilidad de formar una mezcla explosiva. Otro motivo que corrobora la necesidad de un control exhaustivo es la posibilidad de polimerizar que presentan hidrocarburos insaturados durante la alquilación, reacción favorecida a temperaturas elevadas y que produce compuestos de mayor peso molecular que el isooctano.

#### 4.1.4. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL ISOOCTANO

Finalmente, para completar la presentación de las propiedades del isooctano, se muestran, en la Tabla 4.3, las propiedades termodinámicas más destacadas.

Tabla 4.3. Propiedades termodinámicas del isooctano

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Punto flash, K</b>	261,1
<b>Temperatura de autoignición, K</b>	683,2
<b>Límites superior de explosividad (aire 25°C) %vol</b>	1,0
<b>Límites inferior de explosividad (aire 25°C) %vol</b>	6,0
<b>Entalpía de fusión (25°C), kJ/mol</b>	13,1
<b>Entalpía de vaporización (25°C), kJ/mol</b>	31,0
<b>Entalpía de combustión (gas, 25°C), kJ/mol</b>	5,1.10 <sup>3</sup>
<b>Calor específico (líquido, 25°C), kJ/(kg.K)</b>	234,2
<b>Entalpía de formación (gas, 25°C), kJ/mol</b>	224,5

## 4.2. APLICACIONES DEL ISOOCTANO

Con el objetivo de explicar la principal utilidad del isooctano, es necesario remontarse a la invención del automóvil. En el momento en el que se construye el primer vehículo con motor de combustión, se descubre el relevante problema, conocido como cascabeleo, que ocasiona la detonación temprana del combustible por motivo de su bajo octanaje (Owen, y otros, 1995).

Se define el octanaje como la habilidad que presenta un combustible para resistir la autoignición bajo un incremento de presión. Dicho de otra manera, es la escala que mide la resistencia ofrecida por un combustible para detonar de manera prematura cuando se comprime en un cilindro a motor (Renewable Fuels Foundation, 2009). En 1926, Graham Edgar, propuso la alternativa de que dos hidrocarburos con elevada pureza y volumen de producción se utilizasen como extremos de esta escala. Así se estableció el n-heptano como límite inferior, numerado como 0 y el isooctano, con elevado poder antidetonante, numerado como 100 (Usher, 1988). A pesar de poseer actualmente un intervalo mayor en la escala, la industria sigue utilizando este método con sus mismos patrones.

Cuando se hable, por tanto, del número de octano de un combustible (RON o MON según sea de investigación o de motor, respectivamente) se hace referencia al porcentaje en volumen de los compuestos de referencia y representa la capacidad antidetonante de la mezcla. Y, relacionado con esto, cuando el combustible presente un bajo octanaje se origina un golpeteo o cascabeleo por la dirección opuesta de dos frentes de llama, el de la explosión anticipada del combustible por la elevada temperatura y el de la bujía.

Por tanto, el problema surgido a principios del siglo XX presentaba la solución de añadir aditivos antidetonantes para aumentar su índice de octano. Durante las primeras décadas se utilizaron diversos compuestos como yodo, anilina e, incluso, mantequilla derretida pero fue en 1922 cuando se descubrió la primera solución. Thomas Midgley, en conjunto con otros científicos, afirmaron que el platino, la plata y el plomo podían aumentar la capacidad antidetonante de la gasolina. Tras una rigurosa investigación se estableció el tetraetilo de plomo (TEL) como el aditivo óptimo a utilizar. Este compuesto presenta numerosas ventajas como su solubilidad en la gasolina, su vaporización con ella y su descomposición a la temperatura de operación del cilindro. Además, la capa de plomo metálico que se forma en el proceso se elimina mediante la reacción con compuestos orgánicos con cloro y su eliminación con los gases de combustión. Por todo ello, se convirtió rápidamente en el aditivo por excelencia, a pesar de la elevada toxicidad y peligrosidad en su producción. (Schifter, y otros, 1998).

Se presenta, terminando la explicación del tetraetilo de plomo, en la tabla Tabla 4.4, el efecto de su concentración en el índice de octano de la gasolina, tanto de la producida por reformación de nafta como de la extraída del crudo.

Tabla 4.4. Efecto del en el índice de octano. Fuente: (Schifter, y otros, 1998).

<b>Concentración de TEL (g/L)</b>	<b>RON Gasolina de naftas</b>	<b>RON Gasolina de crudo</b>
<b>0,0</b>	96	72
<b>0,2</b>	98	79
<b>0,3</b>	100	85
<b>0,7</b>	102,5	89,5
<b>0,8</b>	102,7	90

A la vista de los resultados se aprecia una destacada mejora de la capacidad antidetonante de la gasolina. Sin embargo, los problemas sanitarios y medioambientales propiciaron que el TEL haya sido uno de los primeros compuestos a reducir, incluso eliminar, de la gasolina.

Por tal motivo se reinició la búsqueda del aditivo óptimo. Entre 1953 y 1958 se desarrolló el metil-ciclopentadienil-tricarbonil de manganeso (MMT) cuyo uso comenzó en diversos países mezclado con el plomo, pero presentaba el problema de la reducción destacada de su efecto sin plomo, la necesidad de una concentración baja por problemas de estabilidad y el origen de depósitos en la máquina. También se estudiaron compuestos de hierro y níquel junto con una molécula orgánica pero su uso fue limitado (Schifter, y otros, 1998).

En la década de los 80, por motivo de la utilización de un postquemador para reducir los NO<sub>x</sub>, el CO y los hidrocarburos de escape se requiere la eliminación del plomo de la gasolina, ya que envenenaba el catalizador. Por tanto, por la imposibilidad de compensar el efecto del plomo en la gasolina con la mejora de las unidades de reformado catalítico, era necesario utilizar otro aditivo (Pigott, 1982).

Surge así la utilización de carburantes oxigenados, con la ventaja de contribuir a la quema total del combustible por el elevado contenido en oxígeno. En primer lugar comentar el metanol y el etanol, que constituyen por sí solos combustibles alternativos con la ventaja de la necesidad de una menor temperatura de combustión y una mayor velocidad. Además, generan más volumen de productos, dando lugar a una mayor presión en el cilindro. En cambio, el uso de este compuesto se limita por su menor contenido energético en comparación con la gasolina y el diesel y su insuficiente volatilidad para el encendido en frío de los motores con bujías precisando gasolina para ello (Wiederkehr, 1995).

Por su parte, dos alternativas más destacadas para la función antidetonante de la gasolina dentro de este grupo de compuestos son el metil-terbutílico (MTBE) y el etil-terbutílico (ETBE). Esto se debe a que se puede añadir al combustible en mayor proporción, ofrecen mejores resultados en lo referido al índice de octano y presentan menores problemas medioambientales. Fue en los años 70 cuando se comenzaron a utilizar como antidetonantes en gran cantidad de países coincidiendo con la escasez del crudo de petróleo por asuntos políticos y con una campaña a nivel mundial contra la utilización del TEL. Estos compuestos han permitido una mayor estabilidad económica del petróleo dentro de las inevitables fluctuaciones que presenta en el tiempo (Pigott, 1982).

Entre ambos, ofrece mejores resultados el MTBE por su mayor facilidad de mezclado con la gasolina. Este éter se comenzó a producir en Europa y se obtiene catalíticamente en las refinerías, utilizando isobuteno y metanol como reactivos. Entre sus condiciones destacar su fracción comprendida entre el 6 y el 10% en volumen en la gasolina pudiendo elevarse hasta el 15% cuando se precise oxígeno para completar la combustión. En cambio, es necesario considerar que no aumenta la volatilidad de la gasolina (Schifter, y otros, 1998).

Se presenta en la Tabla 4.5 el efecto del MTBE en la emisión de contaminantes por la combustión de gasolina.

Tabla 4.5. Efecto del MTBE al 11% en volumen en la gasolina

<b>Compuesto contaminante</b>	<b>% de emisiones reducidas</b>
<b>Monóxido de carbono</b>	- 13%
<b>Hidrocarburos</b>	- 9%
<b>Óxidos de nitrógeno</b>	- 2%
<b>Otros tóxicos</b>	- 20%
<b>Partículas</b>	- 25%

De esta manera, por su capacidad para incrementar la producción de combustible, por su elevado índice de octano y por el carácter más limpio del producto resultante, el MTBE representa una gran alternativa como aditivo a la gasolina.

El uso del MTBE se extendía cada vez más a nivel mundial, llegando incluso a considerarlo a finales de los años 80 como el antidetonante más eficaz, seguro y limpio, así como buen sustituto del plomo. Tal es así que, en los años 90, con la implantación de las Enmiendas de Aire Limpio en EE.UU, se estableció aumentar el porcentaje de MTBE hasta el máximo, un 15%, en aquellas zonas con problemas de polución ambiental en invierno que no cumplían los estándares de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, los estados que presentaban problemas con el smog fotoquímico estaban obligado a reformular la gasolina con un 11% en volumen de MTBE (ya que reduce la formación de compuestos orgánicos volátiles) (Organisation for Economic Cooperation, 1995).

Pero, cuando se creía haber encontrado la solución óptima para el problema de la detonación prematura y obteniendo, además, beneficios de otra índole, se presentó un problema mayor. En EE.UU. se produjeron numerosas fugas, tanto en los depósitos de almacenamiento como en las conducciones. Esto, unido a la elevada persistencia del MTBE en el agua y su gran solubilidad propiciaron numerosos casos de contaminación de los recursos hídricos (Guevara, 2001)

Con tal motivo, comenzaron las prohibiciones del uso de MTBE en diversos estados de EE.UU. siendo California el primero en 1999 y uniéndose después otros como Nueva York o Washington con severas regulaciones en su uso. Sin embargo, en Europa se desarrolló un informe en el cual se concluye que es improbable que se produzca la misma situación por las diferencias existentes entre EE.UU. y la UE, aunque si se precisa un reforzamiento de las normativas de construcción y operación de los depósitos subterráneos. Es decir, no se prohíbe la producción de aditivos oxigenados, únicamente se limitan su concentración al 15% en volumen y se recomienda reducir su uso. En Europa, tan sólo se presenta en un 2% en volumen de media en la gasolina.

Concluir la explicación de los compuestos oxigenados, en concreto del MTBE, con una reflexión. Tras su prohibición en diversos estados de EE.UU, su reducción en otros países junto con un reforzamiento de las estructuras subterráneas y la necesidad de un control más riguroso de la calidad del agua, así como la posibilidad de ser un compuesto cancerígeno según diferentes estudios permiten la previsión de la necesidad de otro compuesto antidetonante.

Nace así la alternativa del producto de este proyecto. Su índice de octano de 100 le convierte en un excelente candidato como aditivo. Además, la capacidad de reforma de una planta de MTBE para su producción propicia otra ventaja destacada para su selección como óptimo. A pesar de ello, existen diferentes alternativas para su producción, destacando la alquilación de olefinas con isoparafinas. Aunque el balance económico no se presenta tan favorable como el caso del MTBE, no admite duda su utilización en lugar del compuesto oxigenado por cuestiones medioambientales y de seguridad. Añadir también que su eficacia estaba justificada por la utilización en 1943 de una molecular parecida, el triptano o 2,2,3-trimetilbutano, el cual, mezclado con una pequeña fracción de plomo, proporcionaba una potencia mayor que el isooctano y una ligera mejora en la economía del combustible. Sin embargo, la necesidad del plomo para obtener esos resultados y unos resultados más enfocados a combustible de mayor peso molecular como el de los aviones propician que se descarte esta opción (Schifter, y otros, 1998).

Por último, resaltar que los aditivos anteriores, como el etanol o el metanol, por ejemplo, presentan un índice de octano superior a 100, lo cual, aunque no perjudique al motor, tampoco lo benefician, a diferencia del isooctano que, estrechando el margen de octanaje posible, permite optimizar el rendimiento del motor ajustando la relación de compresión (Wiederkehr, 1995).

En conclusión, la aplicación más destacada del isooctano, fin con el que se produce en esta planta, es utilizarse como aditivo de la gasolina para evitar su detonación prematura.

Simplemente comentar otra utilidad de este compuesto como puede ser en las técnicas cromatográficas, en especial la de adsorción o de reparto, en la que presenta la aplicación de servir como fase móvil ligeramente polar. También para aumentar la porosidad de los monolitos durante la elaboración de polímeros de impresión para la determinación de pesticidas (Skoog, y otros, 2015).

### 4.3. ANÁLISIS DE MERCADO

#### 4.3.1. EVOLUCIÓN DEL MERCADO

Tras la introducción del MTBE como antidetonante de la gasolina, numerosos episodios de contaminación de acuíferos, tanto por fugas como por arrastre por parte del agua de la lluvia, así como otros problemas medioambientales, propiciaron su prohibición en diversos estados de EE.UU.

Comentar, a modo de ejemplo, la presencia en concentraciones excesivas de MTBE en más de 10.000 acuíferos en California, la contaminación del 80% del agua potable en Santa Mónica o problemas de salud por MTBE en una refinería en Alaska. Esto propicia su prohibición en más de 20 estados y su limitación o sustitución en más de 30 (California Environmental Protection Agency, 2002).

Por tanto, con el objetivo de la sustitución definitiva del MTBE como antidetonante de la gasolina, se presentan las ventajas que representa su reformulación con isooctano.

En primer lugar, se tratan las emisiones a la atmósfera, entre las cuales se reducen las de aromáticos y olefinas, aprovechando estas últimas para la alquilación, al igual que el butano retirado, tras isomerizar. Es decir, no se pierden las ventajas del MTBE y se obtienen reactivos para su producción. Además, el isooctano también permite la reducción de las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, siendo el único inconveniente la emisión de pequeñas fracciones del aditivo a la atmósfera. Sin embargo, el MTBE es un compuesto orgánico volátil que reacciona con los óxidos de nitrógeno originando el problema conocido como smog fotoquímico.

Por otro lado, comentar los efectos sobre el ser humano. El isooctano no se considera un contaminante atmosférico peligroso para la salud humana según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) ya que sólo presenta una toxicidad elevada en el caso de encontrarse a concentraciones elevadas en la atmósfera.

Finalmente, el problema más destacado, el ecológico presenta una diferencia destacada. El isooctano, al igual que el resto de los componentes de la gasolina, en caso de vertido, ocasiona un daño severo. En cambio, su inmiscibilidad en agua, a diferencia de la solubilidad del MTBE, conlleva que su eliminación presente un mayor facilidad y un menor coste.

Por todo esto y, valorando que EE.UU era uno de los principales productores de MTBE se considera la producción de isooctano como antidetonante de la gasolina. A continuación, se procede a llevar a cabo un análisis del mercado de a gasolina para corroborar que es estable y apropiado para invertir.

En la Figura 4.2 se presenta la evolución de la demanda y el suministro de crudo de petróleo en el mundo. A la vista de los resultados, se aprecia la clara dependencia de este recurso no renovable que presenta la sociedad.

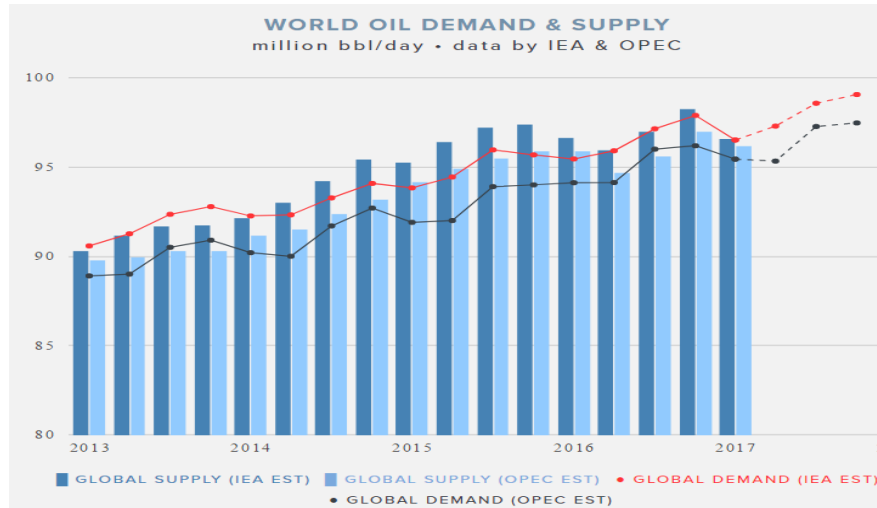


Figura 4.2. Producción y consumo de petróleo en el mundo.

Fuente: (Oil Sand Magazine, 2016)

Concretando por países, se añaden en la Figura 4.3 los principales productores de petróleo a nivel mundial, destacando, entre ellos, EE.UU, Arabia Saudí y Rusia.

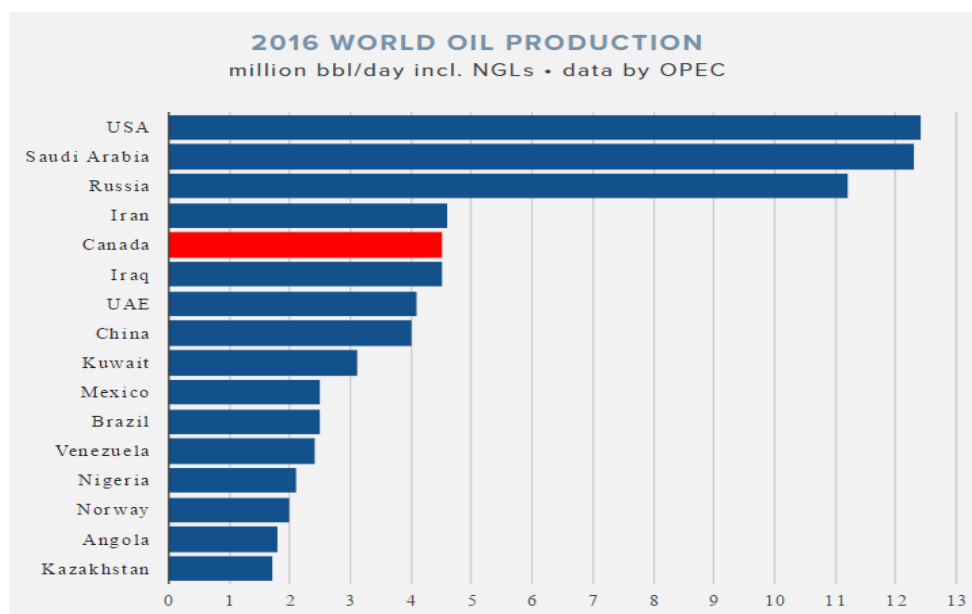


Figura 4.3. Países productores de petróleo. Fuente: (Oil Sand Magazine, 2016)

Finalmente, para corroborar el mercado de la gasolina se presenta, en la Figura 4.4, las fracciones de la demanda de los diferentes productos del petróleo. En el caso de la gasolina, a pesar de prever una ligera disminución en el porcentaje destinado a la para 2017, se considera que representa un producto con elevada demanda y mercado estable en los últimos años en cuanto a volumen de producción.

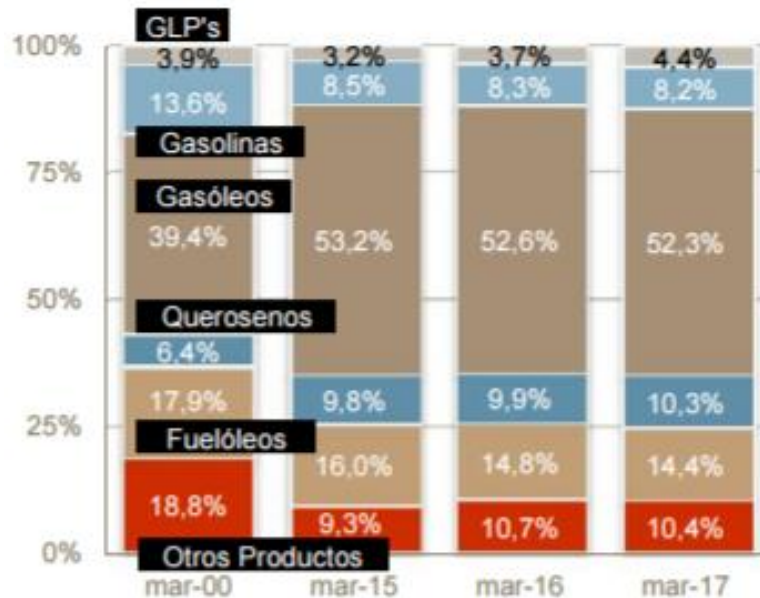


Figura 4.4. Perspectivas de la estructura de la demanda del petróleo.

Fuente: (Oil Sand Magazine, 2016)

Finalmente, se analiza el consumo de gasolina en España, cuya estabilidad, a pesar de presentar fluctuaciones mensuales, es contante anualmente. Esto se demuestra con la Figura 4.5.

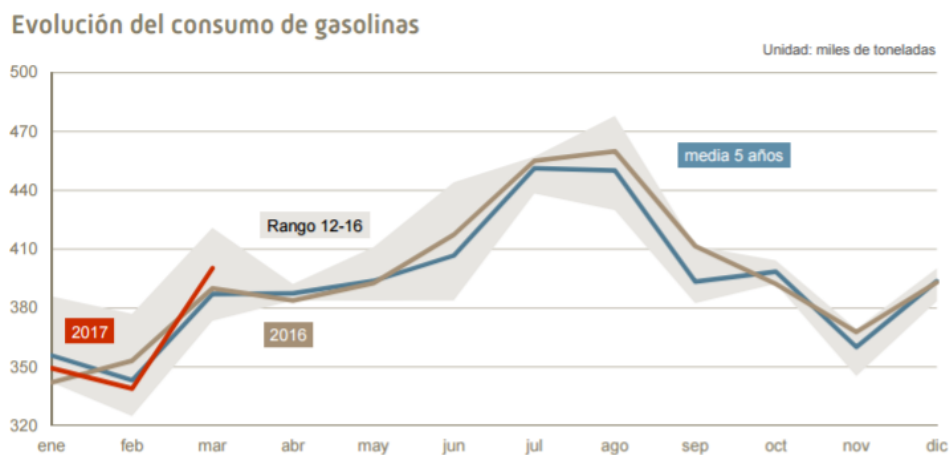


Figura 4.5. Evolución del consumo de gasolina en España. Fuente: (Cores, 2017)

Ante lo expuesto, se puede concluir con que la opción de construir una planta de producción de isooctano resulta rentable en términos de estabilidad del mercado para consumirlo.



#### 4.3.2. PROYECCIÓN DEL PRECIO DEL ISOOCTANO

Para analizar la viabilidad económica, se precisa el conocimiento de los precios tanto de la materia prima como del producto.

En primer lugar, es necesario considerar que el isooctano se va a comercializar como antidetonante de la gasolina sustituto del MTBE. Por tal motivo, debido a su menor capacidad con respecto a él por el índice de octano menor, el precio del producto también es menor. Así, teniendo en cuenta sus ventajas medioambientales y un coste menor equiparable, que no suponga un descenso del beneficio de las refinerías por la sustitución del antidetonante a utilizar, el isooctano presenta una proyección futura estable, tan sólo dependiente del mercado del petróleo.

Comentar que, actualmente, el consumo de isooctano se estima en 1.500.000 de toneladas al año y, según la industria canadiense Neste Oil, productora de dicho antidetonante, por las condiciones expuestas anteriormente, la demanda ascenderá a 300.000 t/año tan sólo en Europa en el 2020. Por tal motivo, la capacidad de la planta se establece para satisfacer el 5% del consumo europeo, es decir, 15.000 t/año, con posibilidad de comercializar también con EE.UU.

El precio establecido para el isooctano es de 1,15 €/kg, inferior al del MTBE, de 1,30 €/kg, proporcionados ambos por el Chemical Industry News & Chemical Market Intelligence.

En segundo lugar, en lo referido a las materias primas, cabe contemplar la diferencia en los costes que presentan las dos corrientes de alimentación. El buteno precisado procede de la deshidrogenación del butano por lo que su valor en el mercado resulta mayor que la corriente de isobutano. Los precios establecidos según el Chemical Industry News & Chemical Market Intelligence (ICIS) se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Precio de las materias primas

<b>Compuesto contaminante</b>	<b>(€/kg)</b>
<b>Isobutano</b>	0,57
<b>Buteno</b>	0,35

Es necesario tener en cuenta que el mercado del petróleo presenta una elevada inestabilidad por lo que este precio susceptible a variaciones por lo que en el *Anexo IV: Viabilidad económica* se analiza la sensibilidad que presenta el precio de venta de productos y el de compra de reactivos.

### 4.3.3. ANÁLISIS DE SUBPRODUCTOS

Por motivo de los puntos de ebullición cercanos de los hidrocarburos de pesos moleculares próximos, la corriente de C<sub>4</sub> de la refinería presenta otros compuestos que actúan de inertes en la reacción de alquilación como es el caso del propano y del butano.

Para evitar su acumulación en el proceso, es necesario realizar una purga con un caudal de inertes idéntico al de su alimentación a proceso. Estos compuestos, presentes en una concentración elevada, presentan valor en el mercado. A continuación, se analizan ambos hidrocarburos en conjunto como gases licuados del petróleo (GLP's)

Se presenta en la Figura 4.6 la evolución en España del consumo de GLP, en el que se aprecia un incremento con el tiempo, lo que permite afirmar la facilidad de venta de estos compuestos en el mercado.

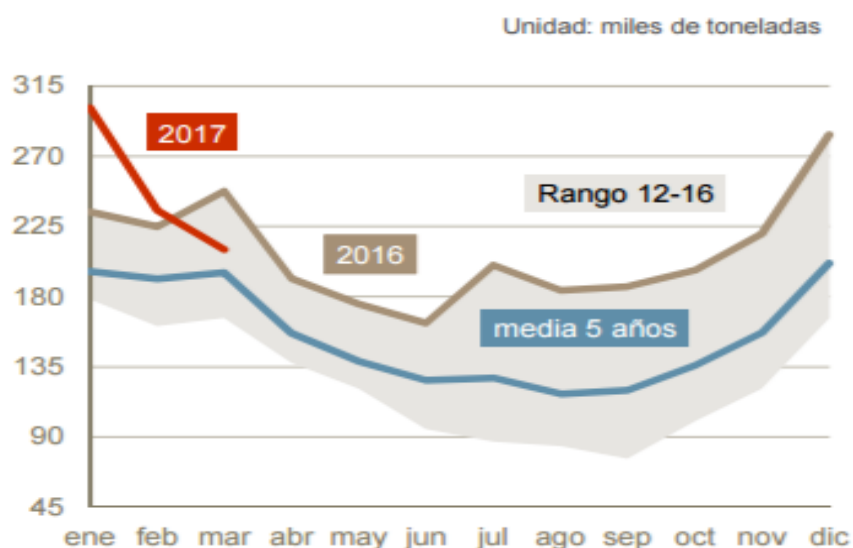


Figura 4.6. Evolución del consumo de GLP en España. Fuente: (Cores, 2017)

Por último, debido a la ubicación de la planta en Tarragona como se explica en la sección de *emplazamiento*, se analiza el consumo de este producto por comunidades autónomas en la Figura 4.7.

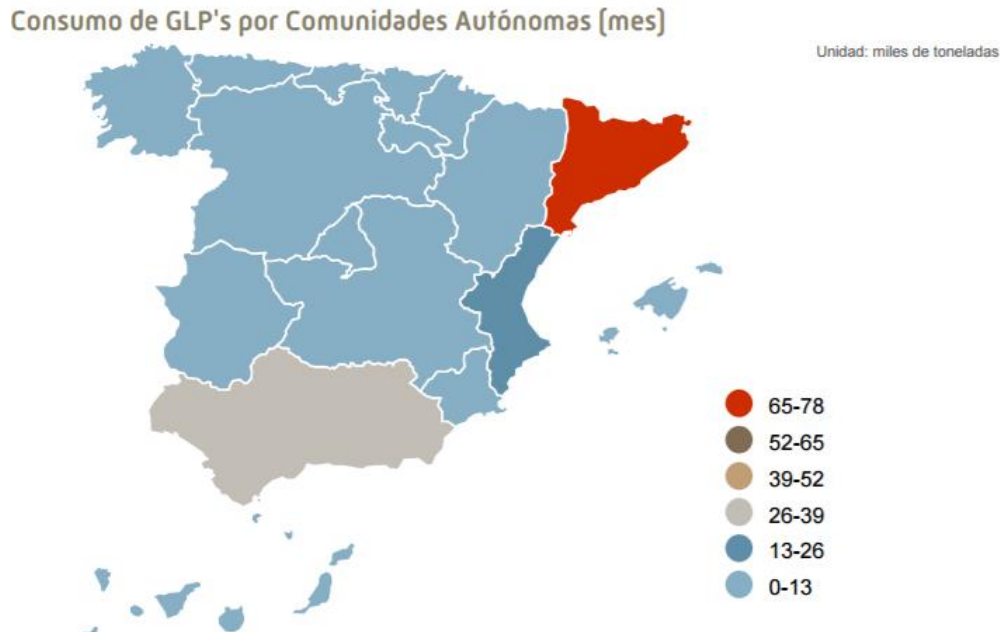


Figura 4.7. Consumo de GLP's en España. Fuente: (Cores, 2017)

Por tanto, se concluye con que los inertes de la planta presentan una buena salida en el mercado, directamente en la refinería que proporciona la materia prima, lo que permite un aumento del beneficio de la planta.

Se explica a continuación sus precios de venta. Para ello, se analiza sus evoluciones en los últimos años, representadas en la Figura 4.8 y Figura 4.9, respectivamente.



Figura 4.8. Evolución del precio del propano. Fuente: (Journal & Oil Gas, 2017)



Figura 4.9. Evolución del precio del butano en dólar/galon. Fuente: (Journal & Oil Gas, 2017)

Ante las destacadas fluctuaciones que se presentan en el precio de ambos compuestos, se decide reducir el análisis al año 2017, presentado en la Figura 4.10.

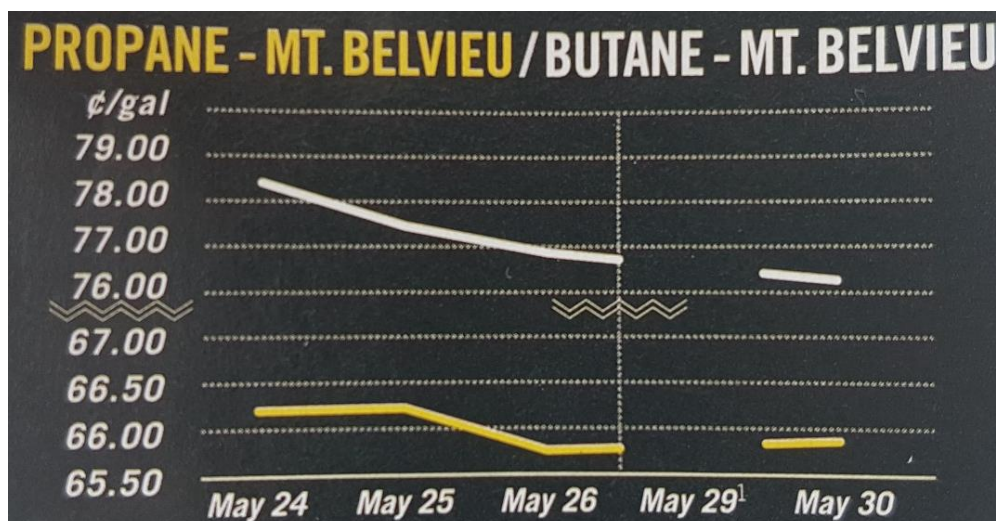


Figura 4.10. Precio del propano y del butano en el 2017. Fuente: (Journal & Oil Gas, 2017)

Así, se concluye el análisis de los subproductos de la planta de producción de isooctano con la presentación, en la Tabla 4.7, de los precios de venta. Simplemente comentar la existencia de dodecano como otro subproducto pero, debido a su innecesidad de separación del antidetonante al no presentar ningún problema, se comercializa mezclado con él reduciendo levemente su pureza.

Tabla 4.7. Precio de los subproductos

Compuesto	Precio (€/kg)
Propano	0,31
Butano	0,31

## 5. ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ISOOCTANO

En el ámbito industrial, el método predominante en la producción de isooctano se basa en la alquilación de olefinas presentes en la fracción C<sub>4</sub> del petróleo (butenos principalmente) por medio de isoparafinas más ligeras que el producto (fundamentalmente, isobutano). En función de la inexistencia o de la utilización de un catalizador y del tipo de éste así como de las condiciones de operación se abren diversos escenarios con el mismo objetivo. Además, al margen de estas opciones, cabe contemplar la posibilidad de una reacción alternativa, tan solo utilizada en ciertas empresas petroleras con el propósito de readaptar una planta de MTBE para producir isooctano (Luyben, 2009).

Por tanto, se lleva a cabo una primera distinción entre las diferentes opciones existentes basada en los reactivos a utilizar y los compuestos intermedios generados durante la producción del trimetilpentano. Posteriormente, se presentan las alternativas en función de la vía de reacción, considerando, entre ellas, una elevada temperatura o la presencia de un catalizador para, finalmente, discernir según el tipo de éste último.

Las dos opciones utilizadas en el ámbito industrial para la producción de isooctano convergen en la utilización de buteno como reactivo. Sin embargo, difieren tanto en las condiciones de operación como en la reacción principal, ya que una alternativa sólo utiliza la olefina comentada mientras que la otra provoca su reacción con isobutano. También cabe destacar que esta última ruta ya permite obtener isooctano mientras que la primera precisa el tratamiento final con hidrógeno ya que se obtiene isoocteno como producto intermedio de la reacción global. Se explican a continuación.

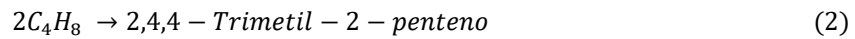
### 5.1. DIMERIZACIÓN DE ISOBUTANO E HIDROGENACIÓN

Tras la breve contextualización del proyecto en el ámbito de los combustibles y, en concreto, de las gasolinas, se puede corroborar un cambio en las instalaciones petrolíferas en los últimos años. Debido a la concienciación con el medio ambiente se han ido variando los compuestos utilizados como antidetonantes o estabilizantes de la gasolina. Un ejemplo de ellos es el MTBE cuyo uso se ha visto menguado e incluso prohibido en ciertos países por su carácter contaminante. Por tal motivo, ciertas plantas, que cuentan con una sección destinada a la producción de este compuesto, han visto reducido su beneficio y han optado por disminuir su capacidad o, directamente, por una readaptación encaminada a la producción de otros compuestos como el isooctano. Así se explica el nacimiento de esta ruta de reacción, su reciente aparición debido a la nueva normativa en diversos países y su escasa existencia en el panorama industrial mundial limitada a ciertas plantas petrolíferas (IHS Markit, 2003).

Entre los partidarios de la remodelación cabe destacar una planta canadiense perteneciente al grupo NESTE OIL, la cual posee la patente de esta ruta de reacción (Tecnología NExOCTANE™), cuyo fundamento químico se presenta a continuación. (Nestejacobs, 2008)

### 5.1.1. DIMERIZACIÓN CATALÍTICA DEL ISOBUTANO

Las reacciones (1) y (2) son las deseadas ya que producen los dos isómeros del isoocteno a partir del isobuteno.



Estas reacciones tienen lugar en fase líquida en reactores adiabáticos sobre el catalizador sólido en lechos fijos a una temperatura de 60°C y una presión de 10 atm. Paralelamente, tienen lugar reacciones secundarias de las cuales se comenta por su relevancia la formación de alcohol tras el contacto de olefinas con la pequeña cantidad de agua que contiene la corriente de alimentación (controlado por normativa) y la producción de triisobuteno, mostrada como reacción (3), con mayor selectividad que la anterior (Nestejacobs, 2008).



La producción de isoocteno a partir de isobutano según el proceso patentado por Nestle Oil se presenta en la Figura 5.1.

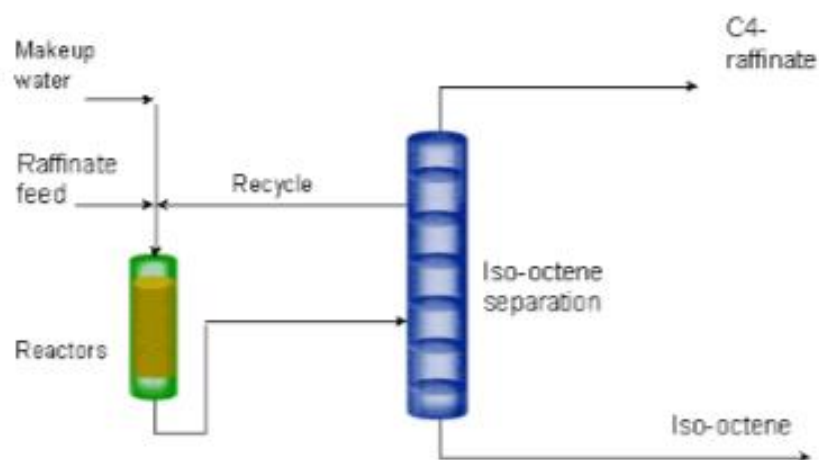


Figura 5.1: Proceso de producción de isoocteno a partir de buteno. (Nestejacobs, 2008)

### 5.1.2. HIDROGENACIÓN CATALÍTICA

Tras una etapa de separación situada tras la anterior sección de reacción se obtiene el isoocteno libre de compuestos oxigenados y reactivos que no se transformaron. Esta corriente se transporta hasta la segunda sección donde se le somete a una hidrogenación catalítica según la reacción (4) para la producción de isooctano.



Esta reacción tiene lugar en un reactor percolador, es decir, el isoocteno circula en estado líquido a través de un catalizador poroso, mientras que el hidrógeno lo hace en estado gaseoso. Esta etapa en la producción de isooctano se muestra en la Figura 5.2.

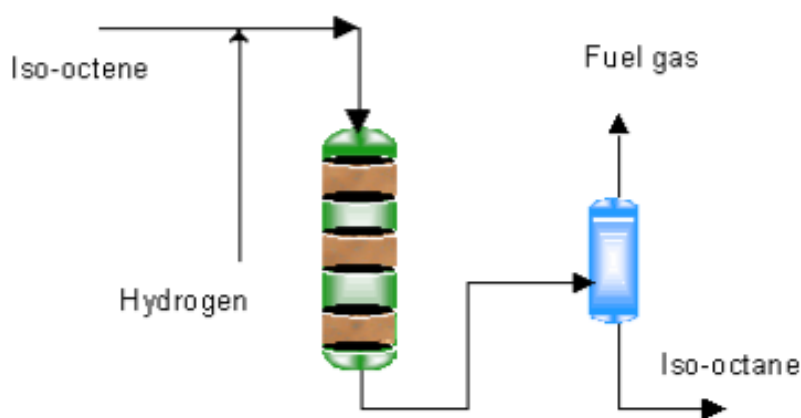


Figura 5.2: Proceso de producción de isooctano a partir de isoocteno (Nestejacobs, 2008)

Los motivos principales en los que se apoya esta ruta de reacción son los siguientes:

- Bajo coste de readaptación de la planta de MTBE debido a la utilización de ciertos equipos y reactivos comunes a los dos procesos.
- Producción de isoocteno (hidrogenado posteriormente para la obtención de isooctano) con excelentes propiedades.
- Gran disponibilidad y durabilidad del catalizador, siendo éste el mismo que el utilizado para la producción de MTBE, una resina de intercambio iónico también patentada por esta empresa (ZM-760 de Zeocat).
- Adecuado para amplia variedad de corrientes de alimentación C<sub>4</sub> de una refinería.
- División de la sección de reacción en dos partes independientes permitiendo la obtención de dos productos, una olefina (isoocteno) tras la primera reacción y una isoparafina (isooctano) tras la segunda.

Citar, para completar esta ruta de reacción, la posibilidad de utilizar catalizadores líquidos como ácido sulfúrico, siguiendo el mecanismo presentado en la Figura 5.3.

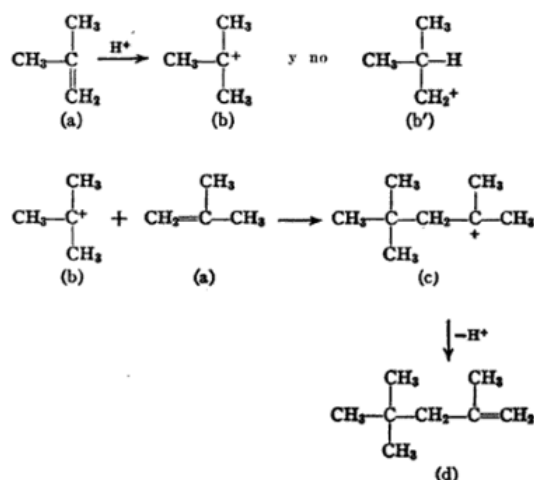


Figura 5.3: Mecanismo de dimerización catalizada por ácido sulfúrico.

Fuente: (Louis F. Fieser, 1985)

También comentar, en lo referido a equipos utilizados, la posibilidad de llevar a cabo una destilación reactiva, combinando así la etapa de separación con la primera sección de reacción, alternativa en fase de estudio. La ventaja que presenta es el aumento de conversión del 75 al 85% y el inconveniente es la menor rentabilidad frente al proceso descrito anteriormente. (Nestejacobs, 2008)

## 5.2. ALQUILACIÓN DE PARAFINAS

La alquilación de olefinas  $C_3$  y  $C_4$  con isobutano con el objetivo de producir compuestos de alto octanaje es un proceso llevado a cabo en refinerías de todo el mundo. Sus inicios datan de la década de 1930 con el objetivo de proporcionar combustible de aviación durante la Guerra Mundial y, hoy en día, este producto alquilado es un valioso componente de la gasolina (Luyben, 2009).

La reacción principal de este proyecto, numerada como (5), es un ejemplo de estos procesos cuyo producto final es el isooctano.



Pero esta reacción no ocurre de manera espontánea y presenta dos alternativas para que tenga lugar, una temperatura elevada o la presencia de un catalizador (John J. McKetta, 1977).



### 5.2.1. ALQUILACIÓN TÉRMICA DE PARAFINAS

Esta alternativa precisa unas condiciones elevadas de temperatura y presión. Cuantitativamente, se cifran estos valores en torno a 510°C y cientos de atmósferas. Además de estas drásticas características, el rendimiento del proceso se reduce con el peso molecular de las olefinas desde el etileno al butileno, siendo relativamente bajo para este último. Un tercer inconveniente se origina por las reacciones secundarias al producirse el cracking y la polimerización por motivo de la elevada temperatura. Esto condiciona también el modelo de contacto entre los reactivos, el cual debe basarse en una lenta adición de las olefinas para mantener un ratio parafina/olefina elevado y conseguir una elevada selectividad, reduciendo la reacción entre butenos (John J. McKetta, 1977).

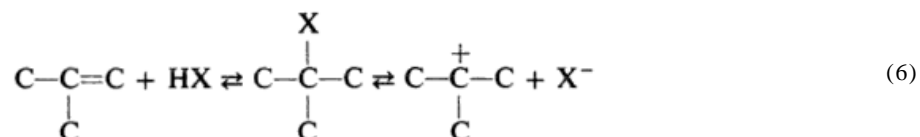
Citar también la posibilidad de utilizar compuestos tanto alifáticos halogenados como nitrogenados para inducir la reacción en un rango de temperaturas un poco menor, entre 300 y 400°C. Aun así, la importancia comercial de la vía térmica es nula frente a la catalizada (John J. McKetta, 1977).

### 5.2.2. ALQUILACIÓN CATALÍTICA DE PARAFINAS

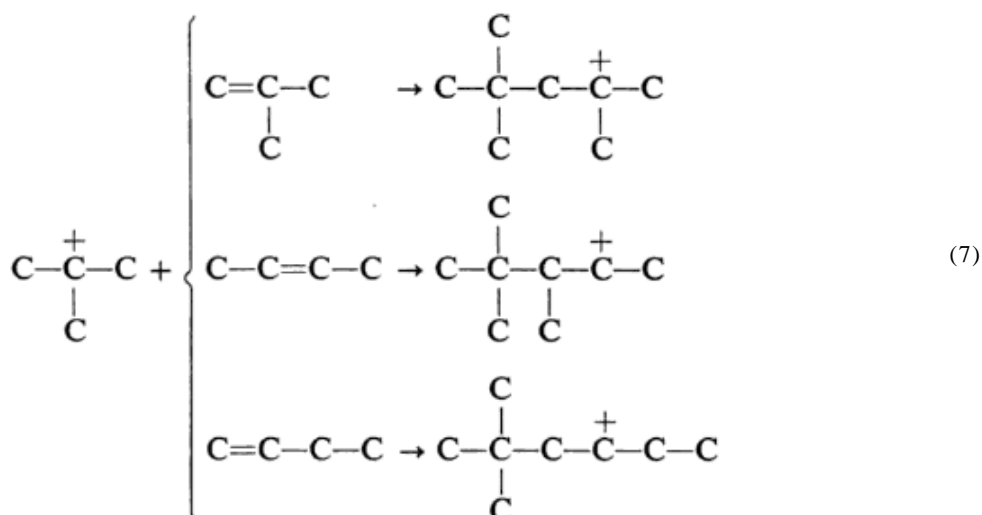
La alternativa catalítica presenta unas condiciones más moderadas de temperatura y presión al transcurrir la reacción en el margen comprendido entre 0 y 40°C y unas pocas atmósferas, las suficientes como para mantener los hidrocarburos en fase líquida. Estos reactivos deben transferirse hasta la fase del catalizador, donde tiene lugar la reacción y, tras ella, separase del mismo como productos. En esta ocasión también se presentan reacciones secundarias como la hidrogenación de olefinas, la polimerización o la formación de ésteres (Albright, y otros, 1988)

Los ácidos más utilizados en la industria para llevar a cabo este proceso, disponiendo como reactivos del isobutano y del buteno, son el ácido sulfúrico y el ácido fluorhídrico, catalizadores líquidos. A pesar de ello, existe también la posibilidad de utilizar ácidos sólidos como los haluros del tipo Friedel-Crafts con el objetivo de reducir posibles daños ocasionados sobre la salud de los trabajadores. La investigación de esta vía se ve reducida debido al mejor manejo y a la menor cantidad de reacciones secundarias catalizadas por parte de los ácidos líquidos. La ventaja que presentan los sólidos es el mayor potencial para modificar la reacción de alquilación, reduciendo así la formación de otros isómeros, así como el comentado problema ambiental. Tanto para uno como para otro catalizador el mecanismo de reacción, esquematizado a continuación, es el mismo y se basa en el ion carbonio. (Francisco J. Sánchez, 2005)

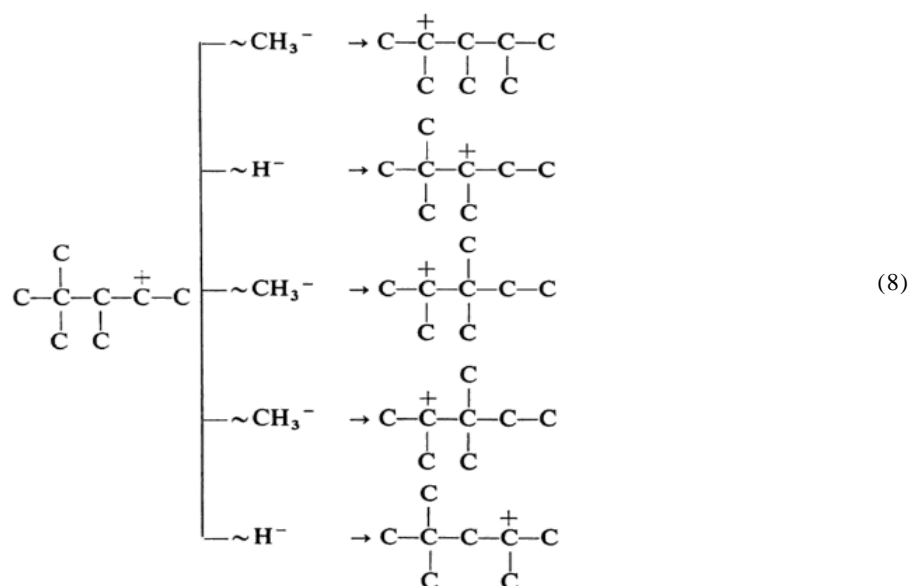
- **Formación del ion carbonio:** El ácido utilizado como catalizador reacciona con la olefina ramificada dando lugar al ion carbonio, es decir, a una molécula que contiene un átomo de carbono con una carga positiva (+1). Se presenta lo explicado en la reacción (6).



- **Reacción del ion carbonio y la olefina:** Una nueva olefina, en este caso no ramificada, reacciona con el ion anterior dando lugar a una isoparafina con un carbono con carga positiva. Paralelamente, también puede actuar como reactivo una olefina ramificada por lo que se presenta cierta variedad de isómeros del octano con carga positiva, los cuales se muestran en las reacciones (7). En este proyecto se considera principalmente la reacción con 1-buteno por su mayor abundancia en la fracción C<sub>4</sub>.



- **Isomerización:** Tanto por intercambio de un hidrógeno como de un grupo metil se produce la isomerización del isooctano. Existe gran variedad de alternativas que se pueden formar, presentadas en las reacciones (8).



- **Transferencia de un ion hidruro:** Se cierra el ciclo por medio de una isoparafina que cede un electrón de manera que el isooctano posee carga neutra y se forma nuevamente un ion carbonio retornando al primer paso (John J. McKetta, 1977).

El objetivo es mantener la reacción bajo condiciones que minimicen la isomerización con el fin de producir primordialmente 2,2,4-trimetilpentano. A pesar de ello, un sistema reactivo tan complejo y diverso hace evidente la dificultad de obtener tan sólo el producto deseado. Reacciones secundarias que tienen lugar, además de la comentada isomerización, son la autoalquilación del buteno, el crackeo o la polimerización, destacando esta última por su mayor selectividad frente a las otras. La polimerización tiene lugar cuando otra olefina (en lugar de un grupo metil o de un hidrógeno) se une al isooctano a través del ion carbonio. Para el caso concreto de la alquilación con buteno destaca la formación de dodecanos ( $\text{C}_{12}$ ) y hexadecanos ( $\text{C}_{16}$ ) (Luyben, 2009).

Comentar simplemente que la reacción secundaria de crackeo genera, como subproductos, hidrocarburos de menor peso molecular mientras que la autoalquilación consiste en la reacción entre dos moléculas de buteno consumiendo el reactivo limitante (John J. McKetta, 1977).

Con el objetivo de aumentar la selectividad de la reacción de producción de isooctano se debe controlar tanto las condiciones de operación como el modelo de contacto. Tras continuas investigaciones en el siglo XX, el diseño y desarrollo de reactores para esta reacción se ha estabilizado priorizando en la calidad del producto alquilado, en la reducción del consumo del ácido, en el control de la refrigeración y en la facilidad de la separación tanto del ácido como de la recirculación del isobutano. Se han establecido así dos sistemas reactivos para cada catalizador, mostrados en la Tabla 5.1 y explicados a continuación.

Tabla 5.1: Alternativas de tecnología para la alquilación en función del catalizador utilizado

<b>Alquilación catalizada por H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>Alquilación catalizada por HF</b>
Reactor horizontal Stracto	Reactor de Productos Petroleros Universales
Reactor de cascada Kellogg	Reactor Phillips

#### 5.2.2.1 ÁCIDO SULFÚRICO

El proceso catalizado con ácido sulfúrico es más sensible a la temperatura aumentando su viscosidad a medida que ésta desciende con el consecuente problema de mezclado entre ácido y reactante. Por su parte, una temperatura superior a los 25°C conlleva una mayor selectividad de la reacción de polimerización de ahí que se busque la máxima temperatura sin sobrepasar el valor anterior. En lo referido a su concentración, la mejor calidad del alquilato se obtiene con un ácido sulfúrico del 93 al 94% en peso, aproximadamente, de 1 a 2% de agua y el resto hidrocarburos siendo el agua un destacado controlante de la reacción al disminuir la actividad del catalizador entre 3 y 5 veces más que los hidrocarburos. Este es el motivo que obliga a la regeneración del ácido durante el proceso. Los sistemas reactivos destacados para el ácido sulfúrico son los siguientes (Luyben, 2009):

##### Reactor horizontal Stratco

Sus características principales son el buen mezclado de los reactivos y el catalizador y un compartimento interno que contiene un haz de tubos para la refrigeración de los compuestos. Además, su disposición horizontal reduce los costes de construcción y mantenimiento. Su estructura se presenta en la Figura 5.4. El funcionamiento se basa en la introducción de los reactivos y del ácido en la zona del impulsor, el recorrido del reactor por la parte externa y retorno por la interna donde se encuentra el haz de tubos refrigerantes. Esto permite la formación de una fina y continua emulsión ácida y una alta velocidad de circulación evitando gradientes de temperatura. Por la parte opuesta a la entrada se encuentra la boquilla de salida de los productos que conduce la corriente a un separador para recuperar el ácido y, por motivo de la expansión y de la exotermicidad de la reacción, la mezcla de hidrocarburos es parcialmente evaporada. Finalmente, llega a una columna para recircular reactivos no convertidos y purgar inertes (Stratco, 2017).

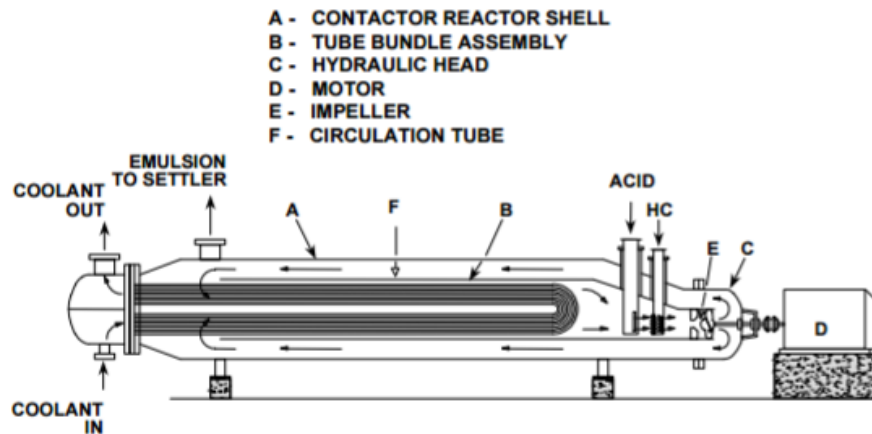


Figura 5.4: Estructura del reactor horizontal Stratco (Stratco, 2017)

Entre las condiciones de operación destacar el mantenimiento del ácido en una concentración mínima del 90% en peso, el ratio 7-10/1 entre isobutano y buteno y una temperatura de 280K aproximadamente. La planta de producción de isooctano se presenta en la Figura 5.5 (Stratco, 2017)

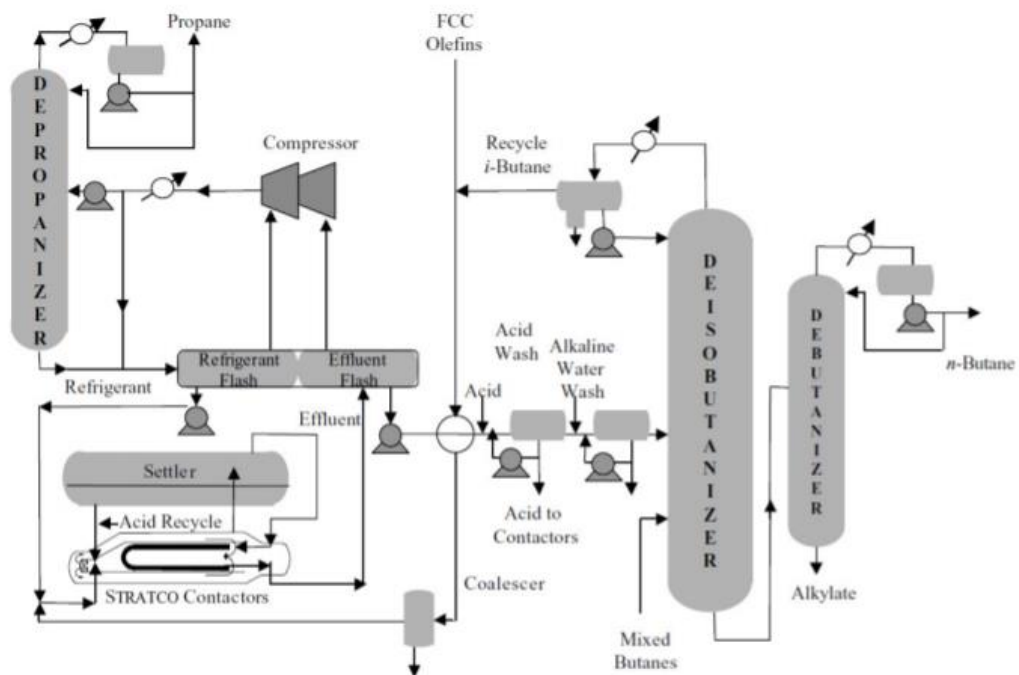


Figura 5.5: Planta de producción de isooctano con un reactor Stratco (Stratco, 2017)

## Reactor en cascada Kellogg

Consiste en un reactor compartimentado, explicado como un conjunto de reactores de tanque agitado autorrefrigerados en serie como se muestra en la Figura 5.6. Esta estructura permite la retirada del ácido para su regeneración y posterior recirculación al reactor. Asimismo, junto al catalizador también se reintroduce en el primer compartimento el isobutano no reaccionado mezclado con la alimentación fresca.

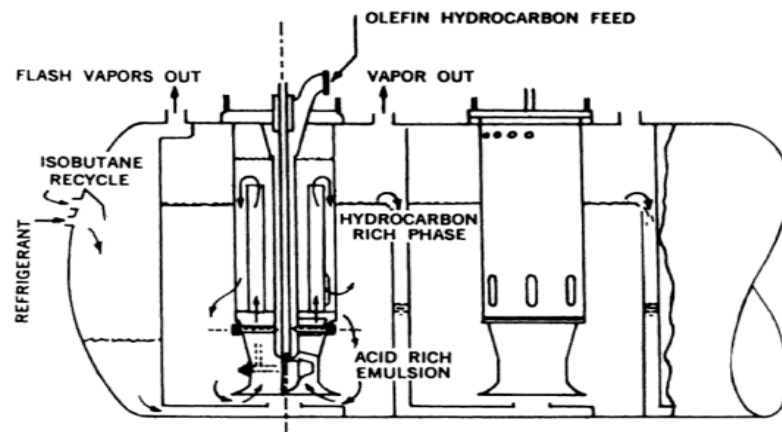


Figura 5.6: Reactor en cascada Kellogg (John J. McKetta, 1977)

La autorrefrigeración se lleva a cabo por la evaporación parcial de la mezcla a la presión del sistema, consiguiendo evaporar gran parte de los inertes (e isobutano también) y retirando la energía liberada en la reacción sin necesidad de un sistema de refrigeración. Debido a la existencia de reacciones secundarias con la olefina, la alimentación de la corriente  $C_4$  se divide equimolarmente y se introduce en cada uno de los compartimentos mezclada con una pequeña cantidad de la isoparafina mientras que el resto de ésta se encuentra en exceso en todos ellos con la recirculación. De esta manera, las corrientes de alimentación, junto con el ácido, avanzan de un compartimento a otro mientras que los compuestos más volátiles se evaporan y se extraen por la parte superior del recipiente (Luyben, 2009).

Por una parte, los gases evaporados se comprimen y licúan y la estructura del proceso es semejante al de la Figura 5.5 divergiendo principalmente en el reactor. Tras ello, la corriente se envía a una despropanizadora para purgar el propano y recuperar el isobutano, el cual se recircula al reactor (Luyben, 2009).

Por otra parte, la mezcla de alquilato, subproductos, reactivos no reaccionados y ácido se conduce a un decantador para separar éste último. Finalmente, en otra columna de destilación conocida como desisobutanizadora, se separa el producto deseado (con impurezas de subproducto), el isobutano, que se recircula, e inertes, que se purgan (Luyben, 2009).

### 5.2.2.2 ÁCIDO FLUORHÍDRICO

En el proceso catalizado con ácido fluorhídrico el efecto de la temperatura tiene menos relevancia y permite alcanzar valores próximos a los 25°C. En lo referido a la concentración, el intervalo de obtención de octanajes con la mayor calidad es aquel comprendido entre 86 y 96% en peso con la peculiaridad de poseer menos del 1% de agua, restricción que obliga a realizar una etapa de secado previa a la de reacción (McKetta, 1977).

El principal problema de este ácido radica en la seguridad, siendo imprescindible comentar la presencia de accidentes destacados en la historia en plantas de alquilación que utilizan ácido fluorhídrico. En la década de los 80 dos incidentes permitieron comprobar sus principales problemas como son la elevada toxicidad, el efecto de su alta presión de vapor y la capacidad de formar aerosoles estables en el ambiente. Esto ocasionó graves problemas por fugas en ambos casos, llegando el primero hasta distancias de 8-10 km por el viento y el segundo obligando a evacuar a 1000 personas, ambos en EEUU. Añadir finalmente la muerte de dos trabajadores a finales de esta década por motivo de otro escape del comentado ácido.

Por motivo de los sucesos comentados, se ha buscado hacer el proceso más seguro debido a su elevado poder catalizador y bajo coste. Un ejemplo a destacar es la utilización de aditivos como sales o aminas para disminuir la presión de vapor reduciendo así su evaporación. A pesar de ello, nace otro problema, el manejo y reciclado de estos aditivos, aportando mayor complejidad al proceso. Además, sigue siendo necesario la manipulación de grandes cantidades de HF. Los dos sistemas reactivos destacados con este ácido se presentan a continuación (Norton engineering, 2016).

### Reactor de Productos Petroleros Universales (UOP)

Tanto el diagrama del proceso para este tipo de reactor como para la otra opción existente con ácido fluorhídrico como catalizador son semejantes y se presenta en la Figura 5.7. La principal diferencia radica en la coexistencia del proceso junto con una planta de tratamiento de propano y otra de alquilación de eteno para producir diisopropil además del isooctano para el caso Phillips (John J. McKetta, 1977).

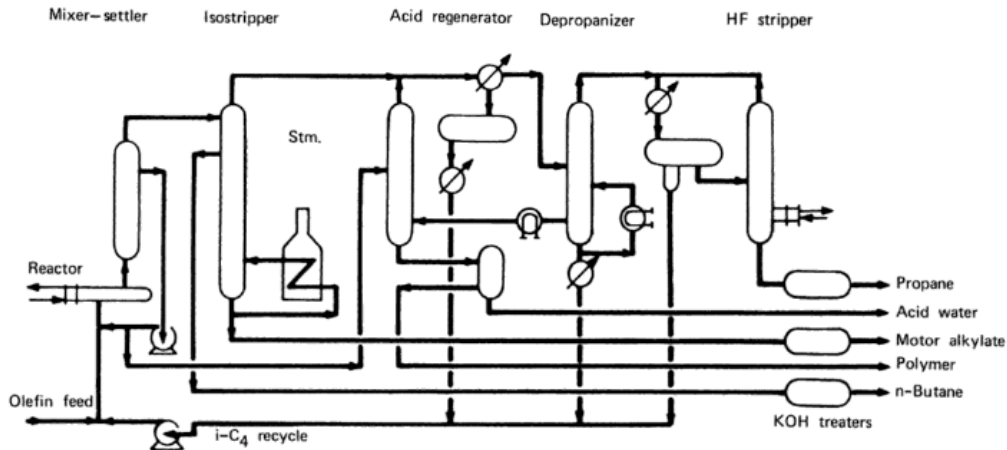


Figura 5.7: Diagrama del proceso de obtención de alquilato catalizado con HF. (John J. McKetta, 1977)

Se presenta una desecadora de lecho sólido que se utiliza para que la concentración de agua sea menor del 1% y, tras ella, la corriente se introduce en una torre reactiva a suficiente presión para mantener los reactivos líquidos y suficiente agitación para el mezclado con el catalizador. La refrigeración se lleva a cabo con agua fría. El proceso es semejante al del ácido sulfúrico excepto en la recuperación del ácido que, en este ocasión, se lleva a cabo por destilación. Además, aunque en el diagrama se presenten dos columnas para separar isobutano, n-butano y alquilato, muchas plantas llevan a cabo la separación en un solo equipo obteniendo por cabezas el primero, como corriente lateral el segundo y por colas el producto (John J. McKetta, 1977).

El reactor UOP, presentado en la Figura 5.8, tiene un funcionamiento basado en la introducción separada de reactivos y catalizador. Mientras que el último se introduce por debajo, los primeros se incorporan por medio de corrientes laterales. Posteriormente, el ácido se separa por destilación junto con los productos y se recircula. En lo que respecta a los hidrocarburos, se obtiene isobutano, que también se recircula, inertes, que se purgan y el producto deseado.

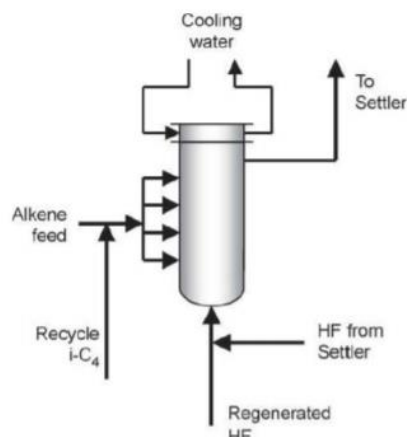


Figura 5.8: Estructura del reactor UOP.

Fuente: (Honeywell UOP, 2017)



## Reactor Conoco-Phillip`s

Simplemente comentar el sistema de reacción diseñado por Phillips y presentado en la Figura 5.9 para terminar la alternativa del ácido fluorhídrico. La alimentación de hidrocarburos, mezclado ya con el ácido desde la entrada al reactor, se realiza por la parte inferior y asciende. Tras alcanzar la parte superior del reactor, el ácido sedimenta descendiendo por efecto de la gravedad reduciendo el consumo de energía y pasa a través de un intercambiador de calor donde se enfría con agua. El reactor consta de platos perforados para favorecer la dispersión de hidrocarburos en la fase ácida. Entre las condiciones de reacción destacar una temperatura cercana a los 25°C y concentración de ácido comprendida entre 86-92% en peso, similar al caso de UOP.

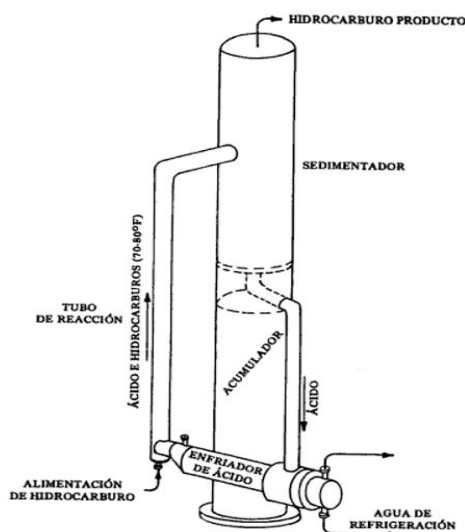


Figura 5.9: Sistema de reacción Phillips (John J. McKetta, 1977)

Citar, como dato, que en diciembre de 2007, UOP adquirió la tecnología Conoco-Phillips.

A modo de conclusión, se presenta en la Tabla 5.2 las ventajas de cada catalizador.

Tabla 5.2: Ventajas del proceso de producción de isooctano según el ácido utilizado como catalizador

Ácido sulfúrico	Ácido fluorhídrico
Obtención de alquilatos de mayor calidad	Menor restricción de temperatura
Menor consumo de isobutano	Menor necesidad de agitación
Menores costes de seguridad	Menor tamaño y complejidad del reactor
Prescindencia de la etapa previa de lavado	Utilización de agua fría como refrigerante
Inexistencia de ácido en la destilación	Sedimentadores más pequeños

### 5.2.2.3 CATALIZADORES SÓLIDOS

En esta sección se procede a la breve explicación de los procesos de producción de isooctano llevados a cabo con catalizadores sólidos. Comentar, para empezar, que no divergen en gran medida con respecto a los catalizadores líquidos en lo referido a equipos y corrientes. Además, las temperaturas de reacción, aunque son mayores, no son muy distantes. En primer lugar se cita el proceso Akzo Nobel que utiliza un reactor AlkyClean en el que se inyecta el alqueno en varias etapas para mantener una relación isobutano/buteno elevada y se presenta un buen mezclado para evitar gradientes de concentración. El catalizador utilizado es Pt/USY con aglomerante de alúmina y la temperatura de reacción se encuentra entre 50-90°C.

Un según ejemplo es la propia empresa UOP, la cual presenta la tecnología Alkylene basada en un reactor que presenta en la Figura 5.10. La alimentación de olefina se mezcla con exceso de isobutano y se introduce, junto con catalizador reactivado, al reactor. Los productos se obtienen por la parte superior y se envían a la columna de destilación mientras que el sólido se envía a la sección de reactivación.

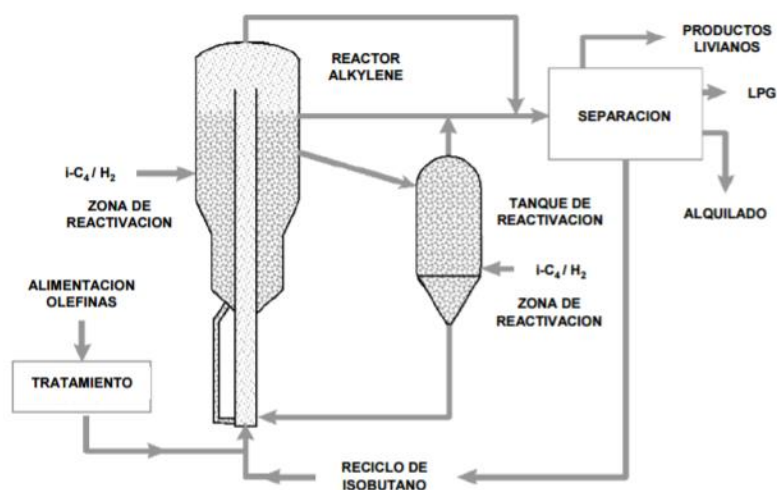


Figura 5.10: Tecnología Alkylene de UOP basada en la utilización de catalizador sólido

En tercer lugar se presenta en proceso Lurgi Eurofuel donde se lleva a cabo una destilación reactiva. En ella, el isobutano y el catalizador entran en la parte alta de la torre y el alqueno de manera independiente en diversas etapas más bajas. El catalizador se retira por la parte inferior, se reactiva y se recircula junto con el isobutano. Entre las condiciones de reacción citar una temperatura próxima a los 80°C y una relación de 10/1 aproximadamente de isobutano/alqueno.

Citar finalmente el proceso FBA que utiliza como catalizador ácido trifluorometanosulfónico sobre un sólido poroso.

### 5.3. JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN

Se decide llevar a cabo la producción de isooctano por alquilación de parafinas utilizando como reactivos el isobutano y el buteno, compuestos presentes en la corriente C<sub>4</sub> obtenida del petróleo. Se elige esta opción debido a su mayor rentabilidad frente a la dimerización de isobuteno y posterior hidrogenación. Esta segunda alternativa, como se comentó, está enfocada a aquellas plantas productoras anteriormente de MTBE que readaptan la sección para producir isooctano. Debido al mayor coste de equipos al tener que llevarse a cabo dos reacciones y mayor consumo energético se decanta por la opción más utilizada en la industria.

Una vez concretada la ruta de reacción, se selecciona la vía catalizada puesto que la alternativa térmica es inviable industrialmente al necesitarse equipos especiales por la limitación de presión y temperatura. En lo referido a la primera sería necesario paredes muy gruesas del reactor y bombas especiales con elevada potencia mientras que para la segunda sería imprescindible un horno. En general, equipos que aumentan el coste de capital y de operación así como el riesgo de la planta. En la opción seleccionada, las condiciones de operación son moderadas y los equipos no experimentan drásticas condiciones de presión y temperatura. El único aspecto a controlar es el catalizador, el cual se reutiliza en gran medida reduciendo su consumo y tomando las medidas de seguridad necesarias se pueden reducir los riesgos notablemente.

Dentro de la alternativa catalítica se elige el ácido sulfúrico como catalizador por los menores problemas que presenta con la concentración de agua, el mejor control de las reacciones secundarias (menor autoalquilación y menor temperatura de reacción reduciendo la polimerización), la mayor seguridad en la recuperación del ácido y, principalmente, por la obtención más eficaz de alquilatos de mayor octanaje como se precisa en esta ocasión, el isooctano. Además, también presenta una ventaja medioambiental y de seguridad, ya que el HF posee un punto de ebullición próximo a la temperatura ambiente (19,5°C a 1 atm) mientras que el ácido sulfúrico es menos volátil (337°C a 1 atm). De esta manera, fugas de vapor de ácido como se produjeron en el pasado son inexistentes con ácido sulfúrico. El único inconveniente en este tema es la elevada corrosión que presenta, pero sus peligros están localizados.

La utilización de catalizadores sólidos se descarta por la elevada velocidad de desactivación. Lo cual, sumado a sus problemas de regeneración, reducen su aplicación industrial. Además, los catalizadores sólidos utilizados son porosos y presentan problemas de difusión y la formación de polímeros y pseudoalquilados.

Finalmente, entre las dos opciones existentes en la industria en lo que respecta al sistema reactivo, se ha decidido utilizar el reactor en cascada Kellogg por la facilidad para mantener el ratio entre reactivos necesario mediante la alimentación fraccionada de olefinas, el intercambio de calor (sin necesidad de refrigerante) y el buen control de la agitación para el mezclado de reactivos y ácido.

## 5.4. VIABILIDAD TÉCNICA

Tras el análisis global del proyecto, se puede concluir que es viable técnicamente por los motivos expuestos a continuación:

- Disponibilidad de la tecnología seleccionada para el desarrollo del proceso
- Disponibilidad de materias primas en cantidad y calidad
- Disponibilidad de los diferentes recursos energéticos
- Calidad del producto ofrecido
- Disponibilidad de terreno para su emplazamiento
- Impacto ambiental de la planta
- Costes estimados de inversión y explotación

## 6. EMPLAZAMIENTO

### 6.1. UBICACIÓN DE LA PLANTA

Para la selección de la parcela apropiada para la ubicación de la planta de producción de isooctano es necesario valorar una serie de consideraciones.

En primer lugar, las materias primas proceden de una refinería, por lo que la proximidad a ella es vital para la reducción de los costes de transporte. Además, el producto y subproductos se utilizan para la producción de gasolina, de manera que retornan a esa u otras refinerías. Añadir también la necesidad de regeneración del ácido por lo que, en total, los costes de transporte de todos los compuestos presentan una relevancia destacada. Con lo cual, se precisa una situación estratégica en lo referido a red de comunicaciones, decantándose preferiblemente por una ciudad marítima. A los medios de transporte se le añade la necesidad de varios accesos a la planta, como mínimo dos, para casos de emergencia.

En otro ámbito, se precisa mano de obra cualificada y servicios tales como agua de proceso, energía o combustible. Se debe estudiar también el impacto ambiental que ocasiona la instalación de la planta y si existe riesgo con respecto a alguna zona protegida. Además se analiza el clima y el precio de los terrenos para la selección del más adecuado.

Analizando todas las variables, se concluye con que la mejor localización se halla en el Complejo Industrial de Repsol de Tarragona, situado en la comarca de Tarragonés, en la provincia de Tarragona.

En la Figura 6.1 se presenta la posición de dicha comarca en el mapa de la comunidad autónoma de Cataluña, situado en el sur. Limita con las comarcas de Alt Camp al norte, Baix Camp al oeste y Baix Penedés al este, mientras que en el sur se presenta el mar Mediterráneo.



Figura 6.1. Ubicación de la comarca de Tarragonés

El complejo industrial de Repsol se compone por una serie de instalaciones en las que se producen diferentes derivados del petróleo. Presenta un tamaño de 500 hectáreas, superficie equivalente al casco urbano de Tarragona. Con el objetivo de controlar su gestión se organiza en 4 áreas. Por un lado se encuentra la de exploración que compone la plataforma de la que se extrae el crudo y el terminal marítimo donde atracan los buques petroleros, constituyendo 9.000 metros cuadrados de superficie. En segundo lugar, el área de refino presenta las unidades de procesamiento del crudo de petróleo y su destilación, tratando más de 9 millones de toneladas de materia prima al año. En tercer lugar, comentar el área denominada química, cuya función es la de obtener polímeros a partir de las olefinas. Finalmente, la cuarta área, la de GLP produce sobre medio millón de toneladas al año de estos compuestos.

Debido a la utilización del isooctano en la mezcla de gasolina (*blending*), se sitúa la planta próxima al área de refino, donde se presentan parcelas industriales para posibles expansiones de la planta de Repsol por un incremento de producción o construcción de nuevas secciones anexas, como en esta ocasión. El precio del metro cuadrado industrial en el complejo, presentado en la Figura 6.2, se encuentra en torno a los 70 €/m<sup>2</sup> y el terreno adquirido, con una superficie de 98.000 m<sup>2</sup>, situado en él, presenta las siguientes coordenadas.

- Latitud: 41°12'07,5'' Norte.
- Longitud: 1°13'45,8'' Este.



Figura 6.2. Complejo industrial de Repsol de Tarragona

En el *Plano 01: Situación y emplazamiento*, presentado en el *Documento II: Planos del proyecto*, se representa a escala 1:2000 la ubicación exacta de la parcela en el complejo industrial.

Presenta los servicios necesarios como son el agua, tanto industrial como potable, vapor para uso industrial, red eléctrica, planta de tratamiento de aguas residuales, infraestructura telefónica, recogida selectiva de residuos e, incluso, parque de bomberos propio y gasolinera.

## 6.2. COMUNICACIÓN

La red de comunicación de la planta es uno de los factores más determinantes que propicia su selección. Esto se debe a la privilegiada comunicación de la planta por carretera, a la proximidad de estaciones de tren, a la disponibilidad de puerto e, incluso, de aeropuerto

En primer lugar, la comunicación viaria es excelente debido a la posibilidad del acceso al complejo desde la autovía de Tarragona A-27, que discurre en paralelo a escasos metros. En lo referido a la proximidad de las ciudades más relevantes de Cataluña, comentar la distancia reducida de 11 kilómetros hasta Tarragona y 15 a Reus. Además Barcelona se sitúa a 106 km, Badalona a 120 km y Girona a 198 km.

Entre las estaciones de tren más próximas citar la de Tarragona a 15 km, al igual que la de Reus y la de Salou a 24 km.

Destacar, además, la comunicación marítima, ya que Repsol posee, como se comentó antes, un área conocida como exploración, que se compone de la plataforma de extracción y del terminal marítimo. Este último, conocido como El Pantalán, presenta puntos de atraque para los buques. Abarca casi 9.000 metros cuadrados de superficie y posee una monoboya a tres kilómetros de la costa para la descarga de los superpetroleros.

Finalmente, comentar, referido a la comunicación aérea, su proximidad con respecto al aeropuerto de Reus (16 km) y al de Barcelona (95 km) destacando este último por las conexiones directas que presenta con las principales ciudades mundiales.

## 6.3. CLIMA

Se presenta un breve estudio de la climatología de la provincia elegida para la situación de la planta con el objetivo de conocer las peores condiciones de temperatura y velocidad del viento así como la dirección de este último para el correcto diseño de los equipos de la planta y la orientación de la misma para casos de fuga.

En primer lugar, se presenta en la Tabla 6.1 la temperatura media por meses de los últimos 5 años, así como la media de las mínimas y las máximas. Además, se añaden las precipitaciones medias.

Se puede afirmar la idoneidad del emplazamiento según su clima al no presentar condiciones drásticas de temperatura ni precipitaciones.

Finalmente, comentar que la velocidad media del viento en cada mes del 2016 estuvo comprendida entre 10 y 13 km/h mientras que su dirección se presenta en la Figura 6.3. A la vista de este último gráfico se concluye con que la ubicación es correcta ya que los municipios cercanos, Villalonga del Camp, el Morell y la Poble de Mafumet se encuentra entre el oeste y el suroeste.



Tabla 6.1. Climatología de la provincia de Tarragona en los últimos 5 años. Fuente: (Meteocat, 2017)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	9.2	10.5	12.1	14	16.9	20.7	23.2	23.6	21.6	17.4	13	10.6
Temperatura mín. (°C)	6.1	6.8	8.2	10.2	13.3	17.1	19.7	20.1	18.1	14.2	9.8	7.2
Temperatura máx. (°C)	12.4	14.2	16	17.8	20.6	24.3	26.7	27.2	25.2	20.7	16.2	14
Temperatura media (°F)	48.6	50.9	53.8	57.2	62.4	69.3	73.8	74.5	70.9	63.3	55.4	51.1
Temperatura mín. (°F)	43.0	44.2	46.8	50.4	55.9	62.8	67.5	68.2	64.6	57.6	49.6	45.0
Temperatura máx. (°F)	54.3	57.6	60.8	64.0	69.1	75.7	80.1	81.0	77.4	69.3	61.2	57.2
Precipitación (mm)	27	33	39	43	54	37	17	43	74	75	52	66

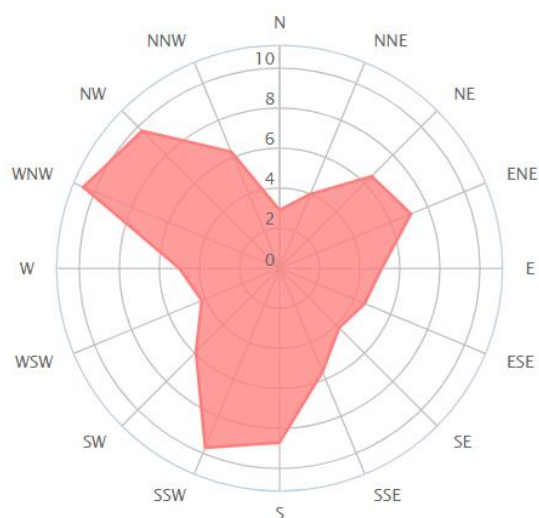


Figura 6.3. Dirección del viento en Tarragona en 2016.

Fuente: (Meteocat, 2017)



## 7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

### 7.1. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

El objetivo de la planta es la producción de 15.000 toneladas de isooctano con una concentración molar del 90% mediante la alquilación de buteno por medio del isobutano. El valor se toma teniendo en cuenta las previsiones que estiman un consumo del producto por parte Europa de 300.000 t/año así como de 1.000.000 t/año por parte de EE.UU. Por ello, con el objetivo de contribuir con la demanda continental, se toma una capacidad de la planta del 5% con respecto a la producción total, correspondiente con el valor presentado y se opera 333 d/año.

### 7.2. MATERIAS PRIMAS

En esta sección se introducen los diferentes compuestos que conforman las dos corrientes de alimentación, bien sean estos inertes o reactivos que intervienen en la formación del isooctano.

En primer lugar, comentar que las corrientes de entrada se encuentran en estado gas en condiciones normales ya que están compuestas por propano, n-butano, isobutano y 1-butenos, los cuales vaporizan por debajo de 0°C a la presión de 1 bar. Por tal motivo, es necesario trabajar a varios bares de presión para poder mantener reactivos e inertes en estado líquido. (Griffin, 1981)

En segundo lugar, resaltar que ninguno de estos compuestos se produce ni utiliza puro ya que presentan puntos de ebullición cercanos y, por motivo de sus aplicaciones y características semejantes, no precisan purificarlos en exceso. Por ello, cuando se hable de las aplicaciones del gas propano o butano, por ejemplo, se refiere a la mezcla de hidrocarburos donde predomine ese gas. (Seider, 2004)

Finalmente, se lleva a cabo, a continuación, una breve explicación de cada uno de ellos, sus características relevantes, sus propiedades y sus aplicaciones individuales más destacadas para después referirse ya a las alimentaciones en conjunto y unos detalles de su proceso de obtención, al ser similar para los diferentes compuestos mencionados.

## 7.2.1. PROPANO

### 7.2.1.1 CARACTERÍSTICAS

El propano es un hidrocarburo alifático cuya molécula está compuesta por tres átomos de carbono y ocho de hidrógeno, es decir, su fórmula molecular es  $C_3H_8$ . En condiciones estándar, es un gas. Además, es incoloro, extremadamente inflamable e inodoro, por lo que se le añaden compuestos de azufre dotándolo así de olor para detectar fugas. Resaltar su densidad superior a la del aire, provocando su almacenamiento en el suelo en caso de fuga, lo que aumenta su peligrosidad tanto por poder iniciar una combustión como por reducir el contenido de oxígeno dificultando la respiración de las personas en las proximidades (Elvers, 1989).

Su existencia en yacimientos naturales no es aislada sino como mezcla de hidrocarburos en forma de crudo de petróleo, producido por descomposición de sustancias orgánicas en ausencia de oxígeno, del que se obtiene el propano tanto por destilación como por crackeo de hidrocarburos de cadena más larga. También se encuentra en el gas natural, aunque en menor proporción (McKetta, 1977).

En la planta de producción de isooctano no se utiliza como reactivo sino que es un inerte que circula por la planta. Su presencia se debe a su punto de ebullición cercano al del butano dificultando su perfecta separación y a su capacidad para cumplir su función de refrigerante absorbiendo, junto con otros hidrocarburos, la energía de reacción. Así, parte del propano, se evapora y se conduce a una columna de separación donde se purga la misma cantidad que se alimenta al proceso, evitando así su acumulación. Se introducen y purgan 920 t/año de propano en la planta de producción de isooctano aunque el caudal que se comercializa es ligeramente superior al no ser exclusivamente inerte.

Se presentan, en la Tabla 7.1, las propiedades físicas y termodinámicas de mayor interés industrial, así como la molécula de propano en la Figura 7.1.

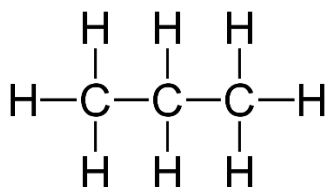


Figura 7.1: Molécula de propano

Tabla 7.1. Propiedades físicas y termodinámicas del propano

Propiedad	Valor
Peso molecular, g/mol	44,11
Densidad del líquido (20°C), kg/m <sup>3</sup>	500,5 <sup>a</sup>
Densidad del gas (20°C), kg/m <sup>3</sup>	1,841 <sup>b</sup>
Punto de ebullición, K	231,05 <sup>b</sup>
Punto de fusión K	85,46 <sup>b</sup>
Temperatura crítica, K	369,85
Presión crítica, MPa	4,25
Volumen crítico, cm <sup>3</sup> /g	4,44
Conductividad térmica (0°C), mW/(mK)	17,26
Viscosidad dinámica (25°C), μPa/s	8,17
Entalpía molar de vaporización (25°C), kJ/mol	15,1
Entalpía molar de fusión, kJ/mol	3,53
Capacidad calorífica, J/(molK)	73,56 <sup>c</sup>
Entalpía de formación (25°C), kJ/mol	-103,92
Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire	9,35
Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire	2,12
Temperatura de autoignición, K	743,15

<sup>a</sup> P. saturación, <sup>b</sup> P. atmosférica

#### 7.2.1.2 APLICACIONES

El propano es un compuesto que presenta gran variedad de usos tanto en el hogar como en la industria. En el ámbito doméstico comentar su función calefactora tanto de aire como de agua con calderas que poseen un elevado rendimiento. También mencionar su utilización en la cocción de alimentos otorgando a los aparatos a gas, rápidamente, gran exactitud en la temperatura. Por otra parte, en el ámbito empresarial tiene aplicación en la hostelería por el mismo motivo, en la agricultura, utilizado en semilleros, invernaderos y viveros y en la ganadería, ejemplificado en la cría de aves y cerdos, entre otros. Sin embargo, su utilidad más destacada reside en el sector industrial, lo cual se explica con su presencia en las plantas de secado, metalúrgicas (en fundiciones y galvanizados), cerámicas (tratamiento de arcillas), de vidrio y cristal (laminación o pulido), textil (estampado y secado de tintes), del mármol (flameado) y alimentaria (panadería). Además, se utiliza como refrigerante industrial y en el sector de los servicios, ejemplificado en hospitales, colegios y polideportivos.

Por último, otra utilidad destacada radica en la automoción como combustible alternativo presentando ventajas medioambientales, acústicas y de rentabilidad frente a los combustibles convencionales.

A pesar de que en esta ocasión no reacciona durante el proceso y su existencia se debe por la impureza que presenta en las alimentaciones de 1-buteno e isobutano, tiene gran aplicación como reactivo en la industria para dar lugar a productos como el propileno por deshidrogenación catalítica o el etileno tras un cracking térmico previo

## 7.2.2. BUTANO

### 7.2.2.1 CARACTERÍSTICAS

El butano es un hidrocarburo alifático constituido por una molécula compuesta por cuatro átomos de carbono y diez de hidrógeno, es decir, su fórmula molecular es  $C_4H_{10}$ . En condiciones estándar, es un gas pero con un leve aumento de presión se puede licuar, estado en el que se almacena. Además, al igual que el propano, es incoloro, inodoro, insípido y extremadamente inflamable y la detección de su fuga se lleva a cabo por el olor de los aditivos de azufre que se le añaden.

También coincide con el propano en lo referido a sus yacimientos, pues aparece en la naturaleza mezclado con otros hidrocarburos en forma de crudo de petróleo, del que se extrae por destilación fraccionada en las refinerías, y en el gas natural.

En este proyecto constituye el otro inerte de la materia prima junto con el propano, lo que obliga a realizar una purga para evitar su acumulación. Esta eliminación de inerte se lleva a cabo por una corriente lateral de la segunda columna de destilación, la desisobutanizadora de la que se extrae el isooctano por colas. Por esta salida inferior también salen impurezas de este inerte junto con el producto y el subproducto. Se introducen y purgan 7817 t/año de n-butano en este proyecto. Una pequeña fracción lo hace en la corriente del producto deseado.

Se muestran en la Tabla 7.2 sus propiedades físicas y termodinámicas de mayor interés industrial así como su molécula en la Figura 7.2.

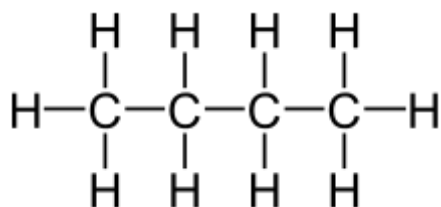


Figura 7.2: Molécula de butano

Tabla 7.2: Propiedades físicas y termodinámicas del butano

Propiedad	Valor
Peso molecular, g/mol	58,14
Densidad del líquido (20°C), kg/m <sup>3</sup>	578,8 <sup>a</sup>
Densidad del gas (20°C), kg/m <sup>3</sup>	2,46 <sup>b</sup>
Punto de ebullición, K	272,65 <sup>b</sup>
Punto de fusión K	134,75 <sup>b</sup>
Temperatura crítica, K	425,15
Presión crítica, MPa	3,80
Volumen crítico, cm <sup>3</sup> /g	4,39
Conductividad térmica (25°C), mW/(mK)	15,54
Viscosidad dinámica (25°C), μPa/s	7,23
Entalpía molar de vaporización (25°C), kJ/mol	21,1
Entalpía molar de fusión, kJ/mol	4,66
Capacidad calorífica, J/(molK)	97,51 <sup>c</sup>
Entalpía de formación (25°C), kJ/mol	-126,23
Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire	8,41
Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire	1,86
Temperatura de autoignición, K	638,15

<sup>a</sup> P. saturación, <sup>b</sup> P. atmosférica.

#### 7.2.2.2 APLICACIONES

Las aplicaciones más destacadas del butano se presentan a continuación:

- Combustible de uso doméstico para cocinar y calentar agua.
- Combustible para motores
- Manufactura de elastómeros
- Combustible industrial junto con el propano conformando el gas licuado de petróleo
- Producción de isobutano por isomerización
- Reactivo para producir acetaldehído por oxidación
- Reactivo para la producción industrial de butilenos y butadienos por deshidrogenación

Además de estas tres últimas aplicaciones, es materia prima de muchos otros compuestos químicos ya que es susceptible de ser halogenado, nitrogenado, oxidado o crackeado térmicamente, entre otras reacciones, aunque no son las aplicaciones más destacadas del butano. Comentar finalmente que es un componente importante de las gasolinas utilizado para ajustar su presión de vapor.

### 7.2.3. ISOBUTANO

#### 7.2.3.1 CARACTERÍSTICAS

El isobutano, también conocido como metilpropano, es una isoparafina formada por cuatro átomos de carbono y diez de hidrógeno, es decir, su fórmula molecular es  $C_4H_{10}$ , al igual que el butano, puesto que es un isómero estructural del mismo. En condiciones estándar, también es un gas pero presenta, sin embargo, un punto de ebullición menor que el del butano debido a las fuerzas intermoleculares. Esto es debido a que las moléculas de butano lineales se disponen unas sobre otras, requiriendo mayor energía para romper los enlaces intermoleculares por fuerza de London mientras que las ramificadas no pueden disponerse en capas por el radical metil. Además de esta característica, también destacar la menor densidad del isobutano, la menor energía de combustión o la menor temperatura y presión crítica, todas ellas por el mismo motivo. A pesar de esto, posee también características cualitativas semejantes al n-butano ya que es incoloro, extremadamente inflamable e inodoro.

El origen del isobutano es análogo al del butano, simplemente con la diferencia de que este último, en ocasiones, es la materia prima para la producción de la isoparafina por isomerización.

En este proyecto, el isobutano es el compuesto que se encuentra en mayor proporción. Además de presentarse en la relación estequiométrica necesaria para la reacción, se utiliza también la isoparafina en exceso con el objetivo de disminuir la selectividad de la reacción secundaria. Así, la relación entre isoparafina y olefina está en torno a 50/100:1. Este exceso circula continuamente por la planta, parte como vapor actuando de refrigerante al absorber la energía de reacción y parte como líquido. Ambas corrientes se separan de los demás compuestos por destilación y se recirculan al reactor, para mantener siempre el exceso de isoparafina. Por tanto, el caudal a alimentar es el estequiométricamente necesario para producir isooctano y para compensar las pérdidas en las corrientes de salida de las columnas de destilación, es decir, se introducen 7477 t/año de isobutano entre las dos corrientes de entrada. La necesidad de una segunda corriente de entrada es debido a la composición insuficiente de esta isoparafina en la corriente de la olefina.

A continuación, en la Figura 7.3, se presenta la molécula de isobutano y, posteriormente, en la Tabla 7.3 sus propiedades físicas y termodinámicas de mayor interés industrial.

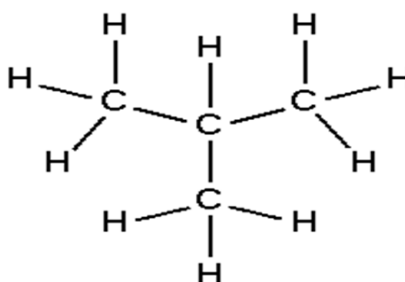


Figura 7.3: Molécula de isobutano

Tabla 7.3: Propiedades físicas y termodinámicas del isobutano

Propiedad	Valor
Peso molecular, g/mol	58,14
Densidad del líquido (20°C), kg/m <sup>3</sup>	557,2 <sup>a</sup>
Densidad del gas (20°C), kg/m <sup>3</sup>	2,45 <sup>b</sup>
Punto de ebullición, K	261,45 <sup>b</sup>
Punto de fusión, K	113,55 <sup>b</sup>
Temperatura crítica, K	408,15
Presión crítica, MPa	3,65
Volumen crítico, cm <sup>3</sup> /g	4,52
Conductividad térmica (25°C), mW/(mK)	15,54
Viscosidad dinámica (25°C), μPa/s	7,45
Entalpía molar de vaporización (25°C), kJ/mol	19,1
Entalpía molar de fusión, kJ/mol	4,54
Capacidad calorífica, J/(molK)	96,88 <sup>c</sup>
Entalpía de formación (25°C), kJ/mol	-134,61
Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire	8,5
Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire	1,8
Temperatura de autoignición, K	733,15

<sup>a</sup> Para presión de saturación, <sup>b</sup> P. atmosférica.

#### 7.2.3.2 APLICACIONES

El isobutano presenta, entre las utilidades más destacadas, la posibilidad de reaccionar con olefinas dando lugar a isoparafinas de mayor peso molecular, compuestos con elevadas aplicaciones destacando la producción de gasolinas debido a sus índices de octanaje elevados. También presenta gran protagonismo en la industria de los aerosoles, interviniendo en su pulverización. Además, es un refrigerante ampliamente utilizado en neveras domésticas o pequeños aparatos de frío comercial, aplicación para la cual precisa una elevada pureza para garantizar la seguridad de los equipos. Esta última utilidad surge de la necesidad de evitar el uso de los clorofluorocarbonos por problemas medioambientales (Watkins, 1979).

Finalmente, comentar también su uso como GLP, como materia prima para la producción industrial de propileno e isobutileno por deshidrogenación así como compuestos aromáticos como xileno, etilbenceno, tolueno y benceno por hidrociclodimerización y su función reguladora de la presión de vapor y del índice de octano en el blending de gasolinas. (Wiley, 1995)

## 7.2.4. BUTENO

### 7.2.4.1 CARACTERÍSTICAS

El buteno es una olefina constituida por cuatro átomos de carbono y ocho de hidrógeno o, dicho de otra manera, su fórmula molecular es  $C_4H_8$ . Presenta cuatro isómeros según se presente el doble enlace entre el primer y el segundo carbono (1-buteno si es lineal, isobuteno si es ramificado) o entre el segundo y el tercero (cis y trans buteno dependiendo de la ubicación de los otros dos carbonos). En lo que respecta a las propiedades cualitativas es similar al butano ya que también es incoloro, extremadamente inflamable a presión atmosférica y temperatura ambiente e inodoro. Destacar también su completa miscibilidad en alcoholes, éteres e hidrocarburos. En cambio, tan sólo es ligeramente soluble en agua.

Esta olefina no se presenta de manera natural en los yacimientos de crudo de petróleo sino que se produce por deshidrogenación de butano o de hidrocarburos de mayor peso molecular y posterior crackeo catalítico, siendo esta última la alternativa más destacada. Aun así, no existe un proceso concreto para la obtención de buteno sino que se forma como subproducto del refino de petróleo y de la producción de etileno.

Este compuesto es el reactivo limitante en la planta de producción de isooctano y debe estar siempre en una relación muy baja con respecto al isobutano con el objetivo de evitar la polimerización resumida en la producción de dodecano. Para la obtención de 15.000 t/año se precisa alimentar al proceso un caudal de 7445 t/año, de los cuales una pequeña fracción es destinada a producir dodecano (selectividad del 5%) y la mayor parte al producto deseado. Por motivo de la conversión elevada (98,5%) y la recirculación de una fracción del no reaccionante, no se obtiene prácticamente reactivo en las corrientes de salida del proceso.

En la Tabla 7.4 se presentan las propiedades físicas más destacadas del buteno y, en la Figura 7.4, las moléculas de sus isómeros.

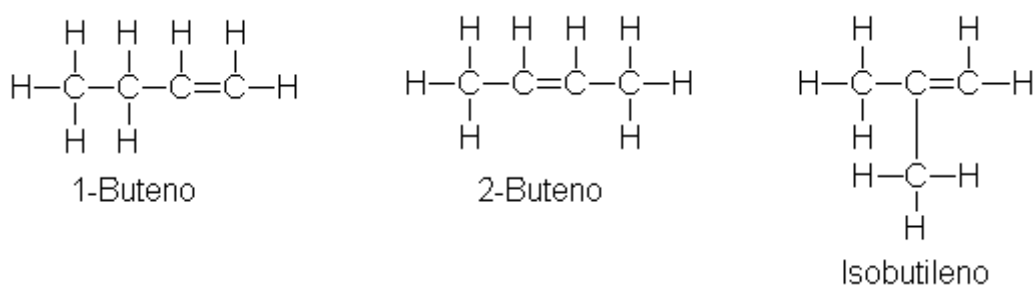


Figura 7.4: Moléculas de 1-buteno, 2-buteno e isobuteno



Tabla 7.4: Propiedades físicas del buteno

Propiedad	1-buteno	Isobuteno
Peso molecular, g/mol	56,12	56,12
Densidad del líquido (25°C) <sup>a</sup> , kg/m <sup>3</sup>	588,8	587,9
Densidad del gas (0°C) <sup>b</sup> , kg/m <sup>3</sup>	2,582	2,582
Punto de ebullición, K	266,9 <sup>b</sup>	266,25 <sup>b</sup>
Punto de fusión, K	87,8 <sup>b</sup>	132,81 <sup>b</sup>
Temperatura crítica, K	419,6	417,9
Presión crítica, MPa	4,02	4,00
Volumen crítico, cm <sup>3</sup> /g	4,17	4,16
Conductividad térmica (0°C), mW/(mK)	14,71	14,71
Viscosidad dinámica (25°C), mN/m	7,54	7,54
Entalpía molar de vaporización (25°C), kJ/mol	20,13	20,59
Entalpía de formación (25°C), J/mol	-0,04 <sup>b</sup>	-16,9 <sup>b</sup>
Capacidad calorífica, J/(molK)	86,63 <sup>c</sup>	86,63 <sup>c</sup>
Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire	9,3	8,8
Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. airea	1,6	1,8
Temperatura de autoignición, K	657,15	738,15

<sup>a</sup> Para presión de saturación, <sup>b</sup> P. atmosférica.

#### 7.2.4.2 APLICACIONES

Gran parte del buteno producido se utiliza en la industria petroquímica, tanto para la alquilación como para la polimerización. Por otro lado también presenta aplicación como fuel para quemar directamente. Por último, una pequeña parte en comparación con el total, se destina a la producción de compuestos químicos, de los cuales se citan a continuación ciertos ejemplos:

- Butadieno para la producción de caucho artificial
- 2-butanol por adición de agua en medio ácido
- Isopreno por adición de un grupo metil al 1,3-butadieno
- Poli-i-buteno a partir de isobuteno tras la isomerización de n-buteno
- Polibuteno isotáctico por polimerización de 1-buteno
- Copolímeros como etileno/1-buteno por su reacción con etileno.

## 7.2.5. FRACCIÓN C<sub>4</sub> DEL PETRÓLEO

### 7.2.5.1 CARACTERÍSTICAS

Los componentes explicados anteriormente, mezclados en determinada proporción, constituyen la fracción C<sub>4</sub> del petróleo. Principalmente, se basa en hidrocarburos con cuatro átomos de carbono con una pequeña proporción de propano (sobre el 5%). Según se separe en unas condiciones u otras, las proporciones de los demás componentes varían. Existen más de diez hidrocarburos con cuatro átomos de carbono de los cuales sólo el n-butano y el isobutano están presentes en el crudo de petróleo en proporciones del 0,9% y 0,3% de manera aproximada, respectivamente. Sin embargo, tras las operaciones llevadas a cabo en una refinería, especialmente la de cracking, se obtienen los demás. La influencia del catalizador y las condiciones de presión y temperatura se hacen visible en la Tabla 7.5 que ofrece los porcentajes aproximados de hidrocarburos C<sub>4</sub> obtenidos tras el cracking.

Tabla 7.5: Proporción relativa de los C<sub>4</sub> obtenidos tras la operación de cracking

Hidrocarburo	% en peso respecto al C <sub>4</sub> total		
	Térmico	Catalítico (Fluidizado)	Baja presión
n-Butano	40	10	2
Isobutano	15	48	
Buteno (1 y 2)	45	32	25
Isobuteno		10	35
Butadieno	-		38

Estos valores ofrecen un orden de magnitud, ya que la exactitud del porcentaje se ve disminuida por la variabilidad en la materia prima.

Tras la obtención de la corriente, se lleva a cabo una separación de los compuestos en función de la aplicación deseada. Sin embargo, el cracking no es suficiente para satisfacer la demanda de la industria química por lo que se utilizan procesos como la alquilación, la isomerización y la deshidrogenación para producir los caudales necesarios, siendo esta última la más destacada para la formación de olefinas. Por tanto, aprovechando las distintas propiedades físicas de los hidrocarburos, destacando solubilidad y volatilidad, sometidos a los procesos comentados anteriormente y, por destilación o extracción, se obtiene la corriente C<sub>4</sub> más adecuada según la aplicación. En esta ocasión, se desea que la corriente principal posea una concentración equimolar de los reactivos y la menor proporción posible de inertes. Debido a que el reactivo limitante se encuentra en mayor proporción que el reactivo en exceso en esta corriente, se precisa una corriente secundaria, que sea lo más rica posible en isobutano consiguiendo así la relación estequiométrica y el pequeño exceso para compensar las pérdidas en las destilaciones (Carpio, 1998).

#### 7.2.5.2 PROCESO DE OBTENCIÓN

Tras la presentación de los componentes que conforman las dos corrientes de entrada del proceso se explica brevemente su obtención industrial. Debido a la similitud del proceso de producción de los diferentes compuestos se muestran las etapas generales para la obtención de los mismos.

Los diversos hidrocarburos de este proyecto tienen su origen en el crudo del petróleo donde se hallan disueltos junto con otros de diferente peso molecular, principalmente mayores. El proceso de separación de los mismos se lleva a cabo en una refinería por destilación fraccionada. Para ello, se realiza un desalado inicial para reducir un 90% aproximadamente su contenido de sal y, tras ello, se calienta e introduce en una columna de destilación a presión atmosférica, proceso conocido como topping. El calentamiento se realiza hasta la temperatura en la cual se evaporan todos los compuestos que se extraen por una corriente situada por encima de la alimentación, así como el 20% de los productos de colas (Urpí, 2008).

Así, los diferentes grupos de hidrocarburos se van extrayendo por corrientes laterales según su punto de ebullición, que se encuentra directamente relacionado con su peso molecular. Con lo cual, los compuestos presentes en las corrientes de alimentación para producir isooctano se extraen de la columna por cabezas, junto con hidrógeno, metano, etano, pentano y un pequeño porcentaje de hidrocarburos más pesados, ya que son los compuestos con menor punto de ebullición. Esta corriente se conduce a un condensador donde, con la utilización de aerorefrigeradores o agua de refrigeración, se obtiene la corriente líquida. Hay una fracción que, debido a su excesivamente bajo punto de ebullición, no licúa, constituida por metano, parte de etano y sulfhídrico, denominada gas ácido y enviado al sistema de fuel gas. Por su parte, la corriente líquida se transporta a una columna estabilizadora, recirculando parte de la misma a la columna de destilación para permitir la condensación de las fracciones ligeras ascendentes, es decir, se precisa un flujo frío descendente para que el fraccionamiento funcione adecuadamente (Urpí, 2008).

Continuando el proceso de obtención, la columna estabilizadora, a 13 bares de presión y 105°C de temperatura aproximadamente, permite la separación de la corriente según el punto de ebullición de los compuestos. De esta manera se obtiene por cabezas evaporado el butano, sus diferentes isómeros y los hidrocarburos más ligeros que éste. En cambio, los pentanos y más pesados, no cambian de fase, salen por colas y se redestilan en una fraccionadora para obtener nafta ligera por cabezas y pesada por colas (Urpí, 2008)..

La corriente de interés, aquella conformada por butano e hidrocarburos de menor peso molecular se condensa nuevamente retirando la pequeña fracción de los no condensables que no se extrajeron anteriormente antes de conducirlo a una estación de desulfuración donde, siguiendo el proceso Merox o utilizando aminas se reduce el porcentaje de azufre hasta el límite legal. Finalmente, se mezcla con la corriente compuesta de los mismos hidrocarburos ligeros resultantes del cracking de hidrocarburos de cadena más larga y se transportan a las columnas de separación (Urpí, 2008).

En ellas se destila en primer lugar metano y etano (que se conducen al absorbedor de tratamiento de naftas) mientras que por colas se obtiene la mezcla de propano y butano, corriente conocida industrialmente como GLP (gas licuado del petróleo). Dicha corriente se redestila para obtener los dos componentes con elevada pureza. El esquema se presenta en la Figura 7.5.

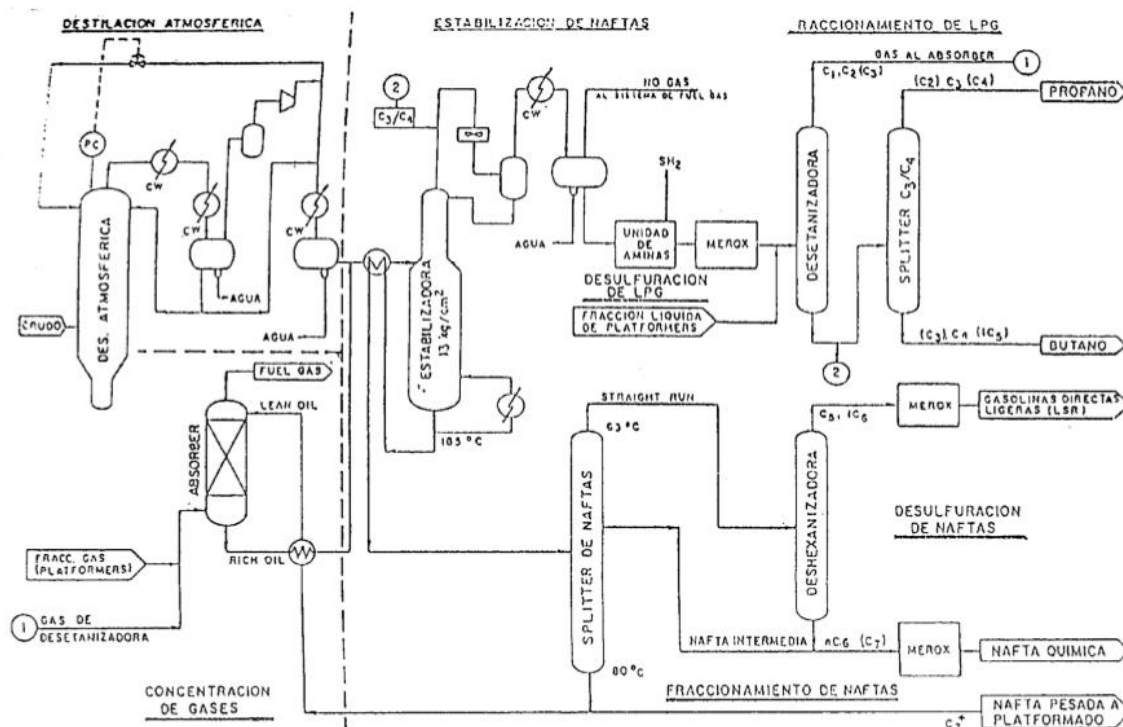


Figura 7.5: Diagrama simplificado de la unidad de recuperación de ligeros Fuente: (Urpí, 2008).

Esta corriente denominada butano está compuesta por C<sub>4</sub>, tanto n-butano como isobutano y pequeños porcentajes de propano y olefinas como 1-buteno o isobuteno. Ciertas modificaciones en el proceso permiten obtener la corriente con las proporciones deseadas para este proyecto, siendo estas una mayor concentración de la olefina en un caso y de la isoparafina en otro. Para el primer caso se precisa condiciones que favorezcan la deshidrogenación del butano para dar lugar al buteno mientras que en el segundo se lleva a cabo con en una unidad de saturación de estos productos finales ligeros. En ambos casos es inevitable la presencia de propano y n-butano en la corriente, inertes del proceso (Urpí, 2008).

También existe la alternativa de separación que contempla primero la extracción de butano y, posteriormente, la separación del propano de los hidrocarburos más ligeros.

Por motivo de los puntos de ebullición próximos y la innecesidad de una corriente pura de compuestos C<sub>4</sub> tanto el propano como el butano se obtienen con impurezas del otro compuesto. Así, la normativa legal vigente exige un porcentaje del 80% del compuesto principal mientras que permite pequeños porcentajes de otros hidrocarburos como C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub> o C<sub>5</sub> u olefinas para el caso del propano y C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> o C<sub>5</sub> u olefinas para el caso del butano pero, sin superar, entre todos ellos, el 20% del total. (Ministerio de Industria, 2006)

### 7.3. SUBPRODUCTOS

Las reacciones que tiene lugar en el proyecto producen dos compuestos, uno deseado y otro originado en una reacción secundaria. El isooctano es el producto de la reacción principal, un compuesto líquido a temperatura ambiente y presión atmosférica, dato que indica que su almacenamiento no precisa de ningún requerimiento especial. Por su parte, el dodecano, producto indeseado, también se encuentra en estado líquido y su separación no resulta complicada pero es innecesaria al no provocar problemas en el uso principal del isooctano comentado a continuación.

Acto seguido se presentan, referido al dodecano, de igual manera que con las materias primas, sus características más destacadas, sus aplicaciones y sus procesos de obtención alternativos al explicado en el proyecto.

### 7.3.1. DODECANO

#### 7.3.1.1 CARACTERÍSTICAS

El dodecano es un hidrocarburo cuya molécula está constituida por doce átomos de carbono o, dicho de otra manera, su fórmula molecular es  $C_{12}H_{26}$ . Al igual que los hidrocarburos comentados anteriormente, es incoloro pero, a diferencia de los mismos, posee un fuerte olor a gasolina.

Este compuesto se presenta en el crudo de petróleo, de manera natural en disolución con otros hidrocarburos y se obtiene por destilación tanto a presión atmosférica como a vacío y por cracking de hidrocarburos de cadena más larga.

En la planta de producción de isooctano se obtiene por la reacción secundaria en la que interviene el reactivo limitante (buteno) y el producto deseado (isooctano) con una selectividad en función del primero del 5%. Teniendo en cuenta la producción anual se generan 1140 t/año que se presentan como impureza en el isooctano producido.

En la Tabla 7.6 se presentan las propiedades físicas más destacadas del dodecano y, en la Figura 7.6, su molécula.

Tabla 7.6: Propiedades físicas y termodinámicas del dodecano

Propiedad	Dodecano
Peso molecular, g/mol	170,38
Densidad del líquido (25°C) <sup>b</sup> , kg/m <sup>3</sup>	748,69
Densidad del gas (250°C) <sup>b</sup> , kg/m <sup>3</sup>	4,107
Punto de ebullición, K	492,35 <sup>b</sup>
Punto de fusión, K	263,53 <sup>b</sup>
Temperatura crítica, K	658,25
Presión crítica, MPa	1,82
Volumen crítico, cm <sup>3</sup> /g	3,52
Conductividad térmica (0°C), mW/(mK)	140,9
Viscosidad dinámica (25°C), mPa/s	1,318
Entalpía molar de vaporización (25°C), kJ/mol	61,30
Entalpía de fusión, J/mol	35,60
Capacidad calorífica, J/(molK)	280,5 <sup>c</sup>
Entalpía de formación (25°C), kJ/mol	-291,1
Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire	4,8
Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire	0,6
Temperatura de autoignición, K	473,15

<sup>a</sup> Para presión de saturación, <sup>b</sup> P. atmosférica.

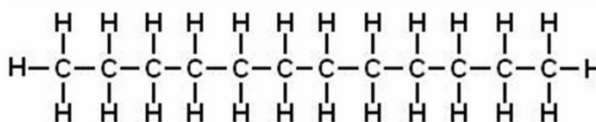


Figura 7.6: Molécula de dodecano

### 7.3.1.2 APLICACIONES

Las aplicaciones más destacadas de los hidrocarburos de cadena larga son como combustible, como reactivo para la de producción de detergentes y proteínas y como materia prima para el cracking (Elvers, 1989).

En lo que respecto a la primera utilización, comentar que se trata de un hidrocarburo demasiado largo para la producción de gasolinas y demasiado corto para gasoil. Así, es uno de los compuestos que conforma el keroseno utilizado como combustible para la aviación.

El segundo aspecto engloba la producción de biodegradables pues, por motivos biológicos, no se puede utilizar las isoparafinas como reactivos, y de proteínas. En el primer caso, en la reacción catalizada por un ácido, el dodecano reacciona con el benceno para, posteriormente, experimentar una sulfuración y neutralización para obtener finalmente detergentes alquilobencenosulfónicos (LABS). También se pueden producir mediante reacciones de oxidación, generando alcoholes de cadena larga que se transforman en diferentes tipos de detergentes según reaccione con óxido de etileno, trióxido de azufre o ácido clorosulfónico. Una última vía de reacción es la oxidación del hidrocarburo en fase líquida en presencia de ácido bórico para dar lugar a alcoholes secundarios, reactivos para la producción de detergente. En el segundo caso, mediante una fermentación se producen proteínas simples por medio de microorganismos que atacan selectivamente a los alcanos lineales (Elvers, 1989).

La tercera alternativa destaca su función como materia prima para el cracking y consecuente obtención de hidrocarburos más ligeros.

Los otros subproductos de la planta son el propano y el butano, explicados en la sección de *Materias primas*.

## 7.4. CATALIZADOR

### 7.4.1. CARACTERÍSTICAS

El catalizador seleccionado para la reacción de alquilación es el ácido sulfúrico. Este compuesto presenta una molécula constituida por dos átomos de hidrógeno, uno de azufre y cuatro de oxígeno, es decir, su fórmula molecular es  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Este compuesto se fabrica industrialmente por diferentes alternativas basadas en el dióxido de azufre como reactivo. Este compuesto se oxida para dar lugar al trióxido de azufre y en contacto con agua genera el ácido. Es uno de los compuestos más producidos a nivel mundial por la presencia que posee en procesos de fabricación de otras sustancias.

En esta ocasión su función es la de catalizador de la reacción de alquilación y el caudal precisado a introducir en el reactor es de 16 t/h. Tras la salida del equipo se separa de los hidrocarburos por la diferencia de densidad existente y se recircula. Sin embargo, a medida que transcurre la reacción el ácido va perdiendo sus propiedades por el descenso de su concentración por lo que, mediante un sistema de control a la salida del decantador, se determina si es necesario regenerarlo.

En la Tabla 7.7/Figura 7.7: Molécula de se presentan sus propiedades físicas más destacadas y, en la Figura 7.7, su molécula.

Tabla 7.7: Propiedades físicas y termodinámicas del ácido sulfúrico

Propiedad	Dodecano
Peso molecular, g/mol	98,08
Densidad del líquido (25°C) <sup>b</sup> , kg/m <sup>3</sup>	1.848
Punto de ebullición, K	547,5 <sup>a</sup>
Punto de fusión, K	284,6 <sup>a</sup>
Temperatura crítica, K	928,15
Conductividad térmica (25°C), mW/(mK)	158,7
Viscosidad dinámica (25°C), mPa/s	22,75
Entalpía molar de vaporización (25°C), kJ/mol	52,38
Capacidad calorífica, J/(molK)	130,8
Entalpía de formación (25°C), kJ/mol	-811,32

<sup>a</sup> P. atmosférica.

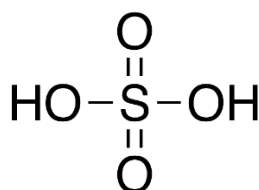


Figura 7.7: Molécula de ácido sulfúrico



## 7.5. SERVICIOS AUXILIARES

Se detallan a continuación las corrientes necesarias de utilidades, es decir, los servicios precisados por la planta para llevar a cabo la producción de isooctano. Comentar que algunos de estos servicios se obtienen de la planta de Repsol como puede ser el agua contra incendios ya que se presenta un parque de bomberos. Otras utilidades con la electricidad o el agua de uso general proceden del mismo suministrador que el resto de la planta.

### 7.5.1. VAPOR DE AGUA

La utilización del vapor de agua en la planta se lleva a cabo en los intercambiadores de calor EX-303 y EX-305, interviniendo en la separación del isobutano y el propano, para la recirculación del primero y la purga del segundo. Además, también se precisa en el EX-402 y el EX-404 con el objetivo, en esta ocasión, de establecer las condiciones óptimas para la purificación del producto, la recirculación del reactivo en exceso y la purga de butano.

Cabe distinguir diferentes tipos de vapor en función de la presión a la que se encuentre siendo vapor de baja presión (LPS) el comprendido entre 3 y 5 bares, vapor de media presión (MPS) si se presenta en el intervalo de 10-15 bar o vapor de alta presión (HPS) si se utiliza entre 40 y 50 bares. Comentar que se genera en calderas en función de los requerimientos de presión mediante la utilización del combustible más económico.

En el caso de los cuatro intercambiadores que utilizan vapor como fluido calefactor, se precisa vapor de media presión a 190°C en el caso del EX-404, mientras que para el resto es suficiente un vapor de baja presión, cuya temperatura correspondiente es de 120,2°C.

### 7.5.2. AGUA DE REFRIGERACIÓN

El agua de refrigeración se puede obtener de un río o lago próximo o mediante una torre de refrigeración, la cual evapora parte del agua al medio ambiente enfriando el resto.

Se necesita esta utilidad para el enfriamiento de corrientes de proceso y para los condensadores de las columnas. En el caso del intercambiador de calor EX-101 la función es la refrigeración de la recirculación para su introducción en el reactor. Por su parte, el intercambiador de calor EX-301, encargado de la condensación de los vapores generados en el reactor R-201 también utiliza agua de refrigeración, así como el EX-306, para enfriar la corriente de colas de la despropanizadora antes de su introducción en la turbina TB-301. Finalmente, añadir los intercambiadores EX-304 y EX-403, cuya función es la de condensar la corriente obtenida por cabezas en las columnas T-301 y T-401.

### 7.5.3. ELECTRICIDAD

La electricidad en el proceso se precisa para el funcionamiento de los motores existentes tales como bombas, compresor o agitadores, entre otros, así como para la iluminación del complejo y el sistema de control. Se puede producir en la propia planta aunque lo habitual es obtenerla de una compañía local.

### 7.5.4. AGUA DE USO GENERAL

La función principal del agua es la limpieza de la planta y de los equipos, así como para los sistemas de seguridad en lavajos, duchas de emergencia y aseos. Se obtiene de una red de abastecimiento y llega a la planta tras un tratamiento previo que reduzca problemas de ensuciamiento o incrustaciones en equipos

### 7.5.5. GAS NATURAL

La necesidad de calderas para la generación de vapor requiere de un combustible. Se utiliza el gas natural por su elevado poder calorífico y su pureza y homogeneidad, facilitando el control de las condiciones del vapor tras su combustión.

### 7.5.6. INERTES

Se requieren gases inertes como el nitrógeno para la inertización de los tanques. Así, se dota de seguridad el proceso de mantenimiento de los depósitos pulmón TK-101 y TK-102 así como el de mezcla TM-101 con el objetivo de evitar inflamaciones y explosiones por el atmósfera que se puede generar entre los hidrocarburos y el aire. Además, se aumenta el tiempo de vida de los equipos al no formarse productos corrosivos en el interior de los mismos mediante la utilización de compuestos inertes.

### 7.5.7. AGUA CONTRA INCENDIOS

Se precisa de un suministro de agua contra incendios para el caso de una emergencia. Esto se basa en una conexión del agua de red a un dispositivo de lucha contra incendios. Añadir también la existencia de balsas contra incendio con un volumen suficiente para una emergencia de varias horas.

### 7.5.8. AIRE COMPRIMIDO

Se precisa esta utilidad para la instrumentación neumática del sistema de control y para operaciones de mantenimiento. Para su uso, el aire debe encontrarse limpio y seco.

## 7.6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

### 7.6.1. RÉGIMEN DE OPERACIÓN

La planta de producción de isooctano a partir de la fracción C<sub>4</sub> del petróleo opera en continuo por una serie de motivos expuestos a continuación.

- Más económico para producciones a gran escala.
- Control continuo de la calidad del producto evitando grandes volúmenes de producción fuera de especificaciones.
- Mejor calidad del producto al optimizar el proceso para unas condiciones determinadas mientras que el discontinuo es más flexible y no se especializa tanto.
- Mayor eficacia del proceso por recirculaciones e integración energética
- Menor coste de mantenimiento
- Mayor seguridad de la instalación
- Control más sencillo al utilizar un equipo en una sola operación

La planta se estructura en cuatro secciones, las cuales se describen acto seguido.

### 7.6.2. SECCIÓN 100: ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

Los reactivos necesarios para la reacción de alquilación son el buteno y el isobutano. Estos compuestos no se presentan puros sino que se obtienen de una refinería junto con otros compuestos como son el propano y el butano. En conjunto, conforman la denominada fracción C<sub>4</sub> del petróleo, obtenido de una refinería. Ambas corrientes se conducen por tuberías en estado líquido hasta la planta, en concreto hasta la sección 100. Ahí tiene lugar el acondicionamiento, compuesto por la estabilidad del caudal y la regulación de temperatura y presión. En primer lugar, se introducen las corrientes en los tanques TK-101 y TK-102, respectivamente para asegurar una caudal constante en las salidas debido a las fluctuaciones que se pueden producir por parte de la refinería. Por otra parte, comentar que ambos productos se obtienen a 20°C de la refinería. Sin embargo, difieren en que el buteno posee una presión de 3,25 bares porque se introduce fraccionado en los diferentes compartimentos del reactor mientras que el isobutano se obtiene impulsado hasta los 6 bares para su introducción en el tanque de mezcla TM-101 que se encuentra a 5,5 bares y recibe también las dos corrientes de recirculación. La salida de este recipiente se conduce al primer compartimento del reactor R-201 tras una reducción de presión hasta los 3,5 bares en la válvula VLV-101 y un enfriamiento hasta los 19,5°C en el intercambiador de calor EX-101.

### 7.6.3. SECCIÓN 200: REACCIÓN Y TRATAMIENTO DEL ÁCIDO SULFÚRICO

Con el objetivo de aumentar la producción de isooctano y reducir la de dodecano, se introduce la corriente de recirculación del reactivo en exceso en el primer compartimento del reactor, en el primer tanque agitado, al igual que el catalizador. Sin embargo, el reactivo limitante, el buteno, se alimenta de manera fraccionada y equimolar en los tres compartimentos ya que interviene también en la reacción secundaria. Durante la producción de isooctano, se libera energía por motivo de la exotermicidad de la reacción. La refrigeración del reactor tiene lugar por la evaporación parcial de los compuestos más volátiles, el propano y el isobutano y estos vapores se eliminan por la parte superior de los compartimentos y se conducen a la sección 300. Por su parte, tras el paso por los tres tanques agitados, la mezcla de hidrocarburos se separa del ácido en el tanque de decantación TK-201, cuarto compartimento del reactor, quedándose en la parte superior por su menor densidad. Esta corriente se conduce a la sección 400. Por último, el ácido resultante se analiza su concentración y, en el caso de que esta se encuentre en el 93% o superior, se recircula al reactor impulsado por la bomba P-201. En caso contrario, se conduce para su regeneración y se añade ácido a la concentración requerida del tanque TK-201, donde se almacena.

### 7.6.4. SECCIÓN 300: PURIFICACIÓN DEL VAPOR Y PURGA DE PROPANO

En esta sección se elimina un caudal de propano equivalente al de la alimentación de las dos corrientes para evitar su acumulación y se recircula la corriente resultante, formada principalmente por isobutano, reactivo en exceso.

Para ello, se precisa, en primer lugar, una condensación de las corrientes de vapor del reactor. Esto se lleva a cabo con la mezcla de las tres salidas por inserción de las dos de los últimos compartimentos, por su menor caudal, en la tubería de la primera. A continuación se introducen en el compresor C-301 y se completa el proceso en el intercambiador de calor EX-301. Tras ello, se le aumenta la presión y la temperatura hasta la de introducción en la columna T-301 valorando las pérdidas. Con tal objetivo, la corriente se impulsa en la bomba P-301 y se calienta en los intercambiadores de calor EX-302 y EX-303, utilizando el primero para el aprovechamiento de la energía de la corriente de colas de la columna de destilación posterior y el segundo para completar el aumento de temperatura. Finalmente, se introduce en la columna de destilación T-301 obteniendo por cabezas el propano, que se vende, y por colas la recirculación del reactivo en exceso que se acondiciona para la recirculación. Esto se produce con un enfriamiento en el intercambiador de calor EX-306, tras una refrigeración parcial en la integración energética anteriormente comentada, y una expansión en la turbina TB-301 aprovechando la energía para su utilización en el compresor C-301.

#### **7.6.5. SECCIÓN 400: PURIFICACIÓN DEL ISOOCTANO**

La última sección de la planta posee la función de aumentar la concentración del producto de la corriente de salida del reactor. Para ello se destila en la columna T-401 y se obtiene por colas junto con el pequeño caudal de dodecano. Por cabeza se obtiene, fundamentalmente, el reactivo en exceso que se recircula, junto con propano y por una salida lateral se obtiene el butano, subproducto que se vende.

La corriente de entrada a la columna posee las condiciones óptimas de presión y temperatura tras su paso por la bomba P-401 y los intercambiadores de calor EX-401 y EX-402. El primero de los intercambiadores de calor aprovecha la energía de la corriente de recirculación de la columna T-401 mientras que el segundo completa el calentamiento. Por su parte, esta recirculación se conduce al tanque de mezcla TM-201 para su reintroducción posterior en el reactor.

## 8. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Se procede a la presentación y explicación de los equipos que conforman cada una de las secciones de la planta de producción de isooctano. Se explica su función y sus características principales y se muestra su representación en el *Plano 02: Diagrama de flujo*, presentado en el *Documento II: Planos del proyecto*.

En la Tabla 8.1 se presentan los equipos de la planta por secciones.

Tabla 8.1. Equipos de la planta de producción de isooctano

SECCIÓN 100: ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	
TK-101	Tanque de alimentación de buteno
TK-102	Tanque pulmón de alimentación de i-butano
TM-101	Tanque de mezcla de recirculaciones y alimentación
VLV-101	Válvula reductora de presión
EX-101	Intercambiador de calor
SECCIÓN 200: REACCIÓN Y TRATAMIENTO DEL ÁCIDO SULFÚRICO	
R-201-1	Reactor de alquilación, primer compartimento
R-201-2	Reactor de alquilación, segundo compartimento
R-201-3	Reactor de alquilación, tercer compartimento
TK-201	Separador de fases
P-201	Bomba centrífuga
TK-202	Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico
SECCIÓN 300: PURIFICACIÓN DEL VAPOR Y PURGA DE PROPANO	
C-301	Compresor recíprocante
EX-301	Intercambiador de calor
P-301	Bomba centrífuga
EX-302	Intercambiador de calor
EX-303	Intercambiador de calor
T-301	Columna de destilación
EX-304	Intercambiador de calor
TK-301	Tanque de condensado
P-302	Bomba centrífuga
EX-305	Intercambiador de calor
EX-306	Intercambiador de calor
TB-301	Turbina
SECCIÓN 400: PURIFICACIÓN DEL ISOCTANO	
P-401	Bomba centrífuga
EX-401	Intercambiador de calor
EX-402	Intercambiador de calor
T-401	Columna de destilación
EX-403	Intercambiador de calor
TK-401	Tanque de condensado
P-402	Bomba centrífuga
EX-404	Intercambiador de calor

## 8.1. SECCIÓN 100: ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

### 8.1.1. TANQUE DE ALMACENAMIENTO TK-101

La función del tanque de almacenamiento TK-101 es la recepción del reactivo limitante, el buteno, procedente de la refinería para su posterior alimentación fraccionada al reactor R-201. Posee una única entrada y tres salidas para conducir equimolarmente el compuesto a los tres compartimentos. Se encuentra a presión de 3,25 bares con el objetivo de mantener a los compuestos en estado líquido y no precisar de una bomba para el suministro al reactor, ya que este opera a una presión menor.

Su diseño se ha realizado con el objetivo de almacenar en su interior materia prima suficiente para evitar una parada de planta en caso de producirse un problema en la recepción por un periodo de tres horas. El tiempo es reducido por la duplicidad de este equipo en la planta con sus tuberías y válvulas correspondientes.

Posee geometría cilíndrica con un volumen de 19,38 m<sup>3</sup> obtenidos con un diámetro de 2,55 metros y una altura de 3,83 metros y su disposición horizontal para el mejor control del nivel. El material de construcción es acero al carbono con un espesor de 10 mm y cabezales torisféricos.

### 8.1.2. TANQUE PULMÓN TK-102

Se utiliza un tanque pulmón con el objetivo de obtener mayor estabilidad en el caudal del reactivo en exceso. Además, facilita también la puesta en marcha de la planta tras una parada. El tanque se encuentra a 6 bares, suficientes para mantener los compuestos de su interior en estado líquido y permitir su transporte hasta el tanque de mezcla TM-101 sin necesidad de una bomba.

Al igual que el tanque de almacenamiento TK-101 presenta un volumen en su interior suficiente para permitirse un fallo en la recepción del reactivo por un periodo de tiempo de tres horas, con la existencia de un bypass de seguridad en caso de un problema de mayor duración. Es un tanque cilíndrico con un volumen de 11,46 m<sup>3</sup>, un diámetro de 2,15 metros y una altura de 3,23 metros. Se dispone en horizontal por el mejor control al poseer mayor área y construye de acero al carbono, posee un espesor de 9 mm y cabezales torisféricos.

### 8.1.3. TANQUE DE MEZCLA TM-101

Las corrientes de recirculación de las columnas de separación se mezclan junto con la de reactivo en exceso fresco. La función del tanque TM-101 es llevar a cabo esta mezcla para su posterior introducción al reactor tras, previamente, enfriarse.

El tanque se encuentra a una presión de 5,5 bares para que la mezcla se encuentre en estado líquido durante el mezclado y la conducción posterior al intercambiador EX-101.

El tanque es cilíndrico, se orienta en vertical y presenta un volumen de 42,25 m<sup>3</sup> valorando la necesidad de tres horas para llevar a cabo el mezclado de los hidrocarburos. Su diámetro es de 3,30 metros y su altura posee un valor de 5 metros. El espesor de la carcasa es de 12 mm y el del cabezal, de tipo torisférico, similar. Comentar la presencia de cuatro placas deflectoras y un agitador que consume una potencia de 3,45 kW.

### 8.1.4. VÁLVULA VLV-101

Esta válvula posee la función de reducir la presión que posee la corriente de recirculación para su introducción en el reactor. A la salida del tanque de mezcla TM-101, la corriente formada por la alimentación isobutano y las recirculaciones presenta una presión de 5,5 bares. Esta se ve reducido tras su paso por el intercambiador EX-101 pero, aun así, posee un valor elevado ya que el primer compartimento del reactor opera a 3 bares. Por ello, se reduce previamente hasta los 3,25 en este dispositivo para evitar problemas en la boquilla de entrada.

### 8.1.5. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-101

El objetivo del intercambiador de calor EX-101 es la reducción de la temperatura de la corriente del reactivo en exceso para su introducción al reactor. A la salida del tanque de mezcla TM-101, la corriente posee una temperatura de 39°C y la reacción se lleva a cabo a 19,5°C.

Para este enfriamiento se utiliza un intercambiador de calor de carcasa y tubos tipo AES. El equipo cuenta con 449 tubos de 3,60 metros para el intercambio. Por su parte, la carcasa, lugar por el que circula agua, el fluido refrigerante, posee un diámetro de 0,62 metros.



## 8.2. SECCIÓN 200: REACCIÓN Y TRATAMIENTO DE ÁCIDO SULFÚRICO

### 8.2.1. REACTOR R-201

El reactor es un recipiente formado por cuatro compartimentos, tres para la reacción y último para la decantación. Sus características más destacadas se presentan a continuación.

#### 8.2.1.1. CARCASA

La carcasa del reactor es un recipiente cilíndrico con disposición horizontal dividido en cuatro compartimentos. Cada uno de los tres primeros se estudia como un reactor de tanque agitado independiente y se separa de los demás por láminas verticales y redondeadas para evitar la existencia de zonas muertas. Tras ello, se presenta una zona dedicada a la decantación del ácido. La carcasa presenta un diámetro es de 3,5 metros y una longitud de 18 metros. El material de construcción es acero inoxidable grado 316, al igual que el de las láminas internas y presenta un espesor de 12 mm, coincidente también con el de las láminas. Por último, mencionar que los soportes utilizados son de tipo silla.

#### 8.2.1.2. AGITADORES

Se utiliza un agitador de turbina provisto de seis palas y un disco en el centro para dotar al equipo de mayor estabilidad. Por este dispositivo se precisan cuatro placas deflectoras, dos en la pared del recipiente y dos en las láminas que delimitan el compartimento. El eje del agitador presenta una carcasa externa con dos tubos en su interior. De esta manera, el tipo de flujo que proporciona la turbina permite la admisión de reactivo y ácido fresco que se incorpora al compartimento por su parte inferior, los introduce en la carcasa del agitador y los mezcla con la alimentación de olefina. Este reactivo limitante se suministra por un tubo insertado al sistema de agitación y, tras el contacto con el otro reactivo y el catalizador, se lleva a cabo la reacción mientras abandona el agitador y regresa al compartimento. Tras salir de la carcasa que recubre el eje, una fracción se reintroduce al inicio por la dinámica de flujo mientras que la otra se conduce al siguiente compartimento.

#### 8.2.1.3. COMPARTIMENTOS

Cada uno de los compartimentos se analiza como un reactor de tanque agitado donde las alimentaciones se realizan de manera diferente. Por un lado, el reactivo en exceso se introduce, al igual que el catalizador, al inicio del reactor. Tras separarse en el cabezal la fracción de vapor que contiene la corriente de recirculación mezclada con la alimentación de isobutano, se introduce por la parte inferior al primer compartimento. Por su parte, el reactivo limitante se alimenta por una boquilla a un tubo insertado en el agitador favoreciendo así el mezclado con el isobutano y el ácido, es decir, favoreciendo la reacción principal.

Parte de los compuestos se evaporan por la energía de reacción absorbida y se extraen por la parte superior mientras que el resto avanza al siguiente compartimento por rebose. Así sucesivamente, donde las diferencias entre los tres tanques residen en el aumento de la concentración de isooctano (con el consecuente aumento de la selectividad de la reacción secundaria), la disminución del volumen de los componentes más volátiles tras sus evaporaciones parcial y la ligera disminución de la presión para mantener la temperatura de reacción constante.

#### 8.2.1.4. CABEZALES

Los cabezales seleccionados para el reactor son torisféricos fabricados del mismo material que la carcasa, acero inoxidable. El cabezal por donde se introducen los reactivos y el ácido tiene función similar a un tanque flash al separar la corriente de isobutano en dos fases, evitando que la fracción de vapor se introduzca al primer compartimento del reactor y permitiendo una relación entre los caudales de salida de líquido y vapor de 3, económicamente óptima. Por su parte, el cabezal del otro extremo tiene como función principal la de participar en la decantación del ácido. Ambos son extraíbles para facilitar el mantenimiento del reactor.

Se presentan, a modo de resumen, en la Tabla 8.2 la hoja de especificación del equipo.

Tabla 8.2. Hoja de especificación del reactor R-201

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Tipo de reactor</b>	Tanques agitados en serie
<b>Número de tanques</b>	3
<b>Orientación</b>	Horizontal
<b>Temperatura de operación (°C)</b>	19,5
<b>Presión de operación (bar)</b>	3,00
<b>Tanques individuales</b>	
<b>Diámetro (m)</b>	3,50
<b>Longitud (m)</b>	3,65
<b>Espesor láminas (mm)</b>	12,00
<b>Volumen líquido (m³)</b>	25,00
<b>Volumen total (m³)</b>	35,00
<b>Carcasa</b>	
<b>Diámetro interno (m)</b>	3,50
<b>Espesor (mm)</b>	12,00
<b>Diámetro externo (m)</b>	3,52
<b>Longitud</b>	18,00
<b>Material de construcción</b>	Acero inox. Gr.316
<b>Aislante</b>	No se precisa
<b>Agitadores</b>	
<b>Tipo</b>	Turbinas de 6 palas y disco
<b>Velocidad de giro (rpm)</b>	100
<b>Potencia total (kW)</b>	190
<b>Decantador</b>	
<b>Área de interfase (m²)</b>	19,30
<b>Longitud de carcasa (m)</b>	7,00
<b>Tiempo de decantación (min)</b>	38,00
<b>Catalizador</b>	
<b>Compuesto</b>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>Concentración (% peso)</b>	93,00
<b>Caudal (m³/h)</b>	8,65
<b>Volumen (m³)</b>	8,50

### 8.2.2. TANQUE TK-201

Tras el paso por los tres compartimentos, la mezcla resultante, compuesta por el producto deseado, el subproducto, los inertes, los reactivos sin reaccionar y el ácido sulfúrico se someten a una decantación en el tanque TK-201. Este equipo se halla dentro del reactor como el cuarto compartimento. El objetivo es la separación del catalizador por su mayor densidad en comparación con la de los hidrocarburos. Al no presentarse agitación en la última sección del reactor y tratarse de dos fluidos inmiscibles, un tiempo de retención propicia la salida del ácido por la parte inferior y la obtención de los hidrocarburos por rebose en la zona superior. La longitud precisada de reactor para este proceso es de 7 metros mientras que el área de interfase es de  $19,30 \text{ m}^2$ .

### 8.2.3. BOMBA P-201 A/B

La bomba P-201 A/B presenta la función de impulsar el ácido resultante de la decantación para su reintroducción en el reactor. Se presenta un repuesto en paralelo para evitar una parada por un fallo en este dispositivo, al igual que en el resto de las bombas de la planta. Se trata de una bomba centrífuga que requiere una potencia de 300 W con el objetivo de elevar la presión del catalizador desde los 2,70 hasta los 3,25 bares. Comentar que si el ácido posee una concentración menor al 93%, se introduce ácido fresco del tanque TK-202, que se encuentra a la misma presión por lo que sólo se utiliza esta bomba para la impulsión en ambos casos.

### 8.2.4. TANQUE DE ALMACENAMIENTO TK-202

El tanque de almacenamiento TK-202 posee ácido sulfúrico en su interior para la reposición en caso de que el resultante de la decantación no cumpla los requisitos de concentración.

Debido a la existencia de catalizador almacenado en la refinería anexa se dimensiona un tanque para poseer un volumen pequeño dentro de la planta, suficiente suministrar el ácido precisado en dos reactores. Cada vez que se produce el cambio se suministra desde este equipo y se envía el gastado a regenerar solicitando un nuevo volumen a la refinería.

Se establece así un tanque de  $21,29 \text{ m}^3$  obtenidos con un diámetro de 2,65 metros y una altura de 4 metros. El material de construcción es acero inoxidable 316, los cabezales torisféricos y el espesor de 10 mm. La presión a la que se encuentra es de 2,7 bares, la misma a la que se obtiene el ácido decantado, utilizando así la bomba P-201 A/B para el suministro al reactor desde ambos lugares.

### 8.3. SECCIÓN 300: PURIFICACIÓN DEL VAPOR Y PURGA DE PROPANO

#### 8.3.1. COMPRESOR C-301

Se utiliza el compresor C-301 para el aumento de la presión de los vapores generados en el reactor de alquilación. Así, con el valor resultante de 7,9 bares se procede a la condensación de la corriente a una temperatura que permite la utilización de agua como fluido refrigerante.

El equipo utilizado es un compresor reciprocante que aumenta también la temperatura de la corriente hasta los 54,37°C desde los 19,5°C de entrada al equipo. Para ello, consume una potencia de 158,48 kW.

#### 8.3.2. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-301

El intercambiador de calor EX-301 es un condensador que presenta la finalidad de licuar los vapores resultantes de la autorefrigeración del reactor tras su paso por el compresor C-301. De esta manera, se obtiene una corriente líquida que se conduce a la destilación.

El equipo utiliza agua de refrigeración, que circula por los 244 tubos de 6,10 metros de largo, para llevar a cabo el cambio de fase de los hidrocarburos, que se produce en la carcasa de 0,79 metros de diámetro.

#### 8.3.3. BOMBA P-301

La bomba P-201 A/B presenta la función de impulsar el líquido resultante de la condensación de los vapores de salida del reactor tras su paso por intercambiador de calor EX-301. Al igual que el resto de bombas de la planta, presenta un repuesto en paralelo con el fin de evitar una parada parcial o total de la planta por un fallo en este dispositivo. Es una bomba centrífuga a la que se le suministran 8,56 kW con el objetivo de elevar la presión de la corriente desde los 7,3 bares hasta los 15,25 bares. La presión final se establece para que, tras las pérdidas por fricción en tuberías y equipos posteriores, la corriente se introduzca en la columna de destilación T-301 a 15 bares.

#### 8.3.4. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-302

El intercambiador de calor EX-302 presenta el objetivo de calentar parcialmente la corriente procedente de vapores del reactor tras licuarla e impulsarla. Este calentamiento, completado en el intercambiador de calor EX-303, presenta la función de alcanzar la temperatura óptima de entrada a la columna.

Para ello, se utiliza un equipo compuesto por 103 tubos de 2,44 metros de longitud con disposición triangular por lo que circula el fluido frío. Por su parte, la corriente caliente está constituida por los hidrocarburos que conforman la recirculación obtenida por colas en la despropanizadora. Se conduce por la carcasa de 0,37 metros de diámetro y tras ello, se procede a completar su acondicionamiento para reintroducir en el reactor. El reactor es de tipo AES, con cabezales extraíbles.

#### 8.3.5. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-303

Este equipo presenta el objetivo de completar el calentamiento iniciado en el intercambiador de calor EX-302. La salida se conduce a la columna de destilación para purgar inertes y recircular el reactivo en exceso.

El intercambiador de calor está formado por 40 tubos de 1,83 metros de longitud por los que circula el fluido frío para reducir su caída de presión. Por su parte, el fluido calefactor es vapor de baja presión, a 2 bares concretamente, generado en la caldera que se circula por la carcasa de 0,30 metros de diámetro. Así se obtiene la corriente a 86°C para la destilación de los compuestos.

#### 8.3.6. COLUMNA DE DESTILACIÓN T-301

La función de este equipo es la separación del propano, necesario para evitar su acumulación, de la corriente obtenida en fase vapor del reactor. Tras su acondicionamiento se introduce en esta columna para purgar el inerte y obtener el reactivo en exceso por colas que se recircula al reactor tras reducirle la presión y la temperatura.

La columna está compuesta por 20 platos, con la alimentación situada en el número 15 y una separación de 0,5 metros entre ellos. Las dimensiones de la columna son 12 metros de alto y 0,53 de diámetro. Por la parte superior se obtiene el propano con una concentración superior a la exigida por normativa para su venta, por lo que se comercializa.

#### 8.3.7. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-306

La corriente de colas de la columna de destilación T-301, tras su paso por el intercambiador de calor EX-303 para aprovechar parte de su energía, se enfría hasta los 19,5°C para su recirculación. Esta refrigeración tiene lugar en el intercambiador de calor EX-306 y la salida se conduce, para reducir la presión, a la turbina TB-301.

El equipo se compone de 140 tubos de 3,66 metros de largo por los que fluye la mezcla de hidrocarburos para su enfriamiento. El fluido calefactor es vapor de baja presión procedente de la caldera, en concreto a 2 bares, y circula por la carcasa de 0,41 metros de diámetro.

### 8.3.8. TURBINA TB-301

Con el objetivo de aprovechar la energía liberada por la corriente de recirculación de colas de la columna dedestilación T-301 para su introducción al tanque de mezcla TM-201, se plantea la posibilidad de utilizar una turbina. Dicha corriente presenta una presión de 14,5 bares, aproximadamente, y el tanque se encuentra a 5,5 bares por lo que el trabajo generado se puede utilizar para reducir el consumo de las bombas o el compresor. Esta energía posee un valor de 3,07 kW.

## 8.4. SECCIÓN 400: PURIFICACIÓN DEL PRODUCTO

### 8.4.1. BOMBA P-401

La bomba P-401 A/B posee la función de impulsar el líquido de productos del reactor, formado por isooctano, dodecano, inertes y reactivos no reaccionado. Se precisa un aumento de presión para la destilación en condiciones óptimas. Se dispone de otra bomba en paralelo con el fin de evitar, en caso de fallo, una parada de emergencia. Es una bomba de tipo centrífuga a la que se le suministra una potencia de 30,80 kW con el objetivo de elevar la presión de la corriente desde los 2,70 bares hasta los 10,50 bares. La presión final se establece para que, tras las pérdidas por fricción en tuberías y equipos posteriores, así como las pérdidas en la columna, la corriente no descienda de los 10,00 bares, necesarios para mantenerla en estado líquido a la temperatura de entrada al reactor.

### 8.4.2. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-401

Tras la impulsión de la corriente líquida de productos del reactor, se precisa un acondicionamiento de la temperatura para la destilación. Esta función la realiza, parcialmente, el intercambiador de calor EX-401.

El equipo consiste en un intercambiador de calor de carcasa y tubos del tipo AES que utiliza la corriente de colas de la columna de destilación T-401 para la integración energética. Se compone de 99 tubos de 3,66 metros de largo por los que fluye la mezcla de hidrocarburos que se calientan. Por su parte, el fluido calefactor, discurre por la carcasa, de 0,42 metros de diámetro.

### 8.4.3. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-402

Completando la función del intercambiador del intercambiador de calor EX-401, el EX-402 recibe su salida y eleva su temperatura hasta la óptima para la destilación, 67,50°C.

La estructura del equipo es la propia de un intercambiador de calor de carcasa y tubos tipo AES. Posee 131 tubos de 2,44 metros de por los que circula el fluido de salida del reactor previamente impulsado y precalentado. Por su parte, los hidrocarburos de cabezas de la desisobutanizadora se conducen por la carcasa de 0,46 metros de diámetro.

#### **8.4.4. COLUMNA DE DESTILACIÓN T-401**

La columna de destilación T-401 presenta la función de purificación del producto. Además, por una corriente lateral se elimina el caudal de butano que se alimenta a proceso para evitar su acumulación. Por cabezas, se obtiene una corriente compuesta principalmente por isobutano que se recircula al reactor tras su acondicionamiento.

La columna está compuesta por 52 platos, la alimentación se encuentra en el número 6 y la distancia entre ellos es de 0,5 metros. Presenta una altura de 30 metros y un diámetro de 4,22 metros. Por la salida lateral se obtiene el butano con una concentración superior a la exigida por normativa para su venta, por lo que se comercializa y el isooctano se obtiene por colas con la especificación de composición exigida.



## 9. CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

### 9.1. INTRODUCCIÓN

Por motivo de la exigente competencia que existe en el mercado, las plantas industriales incrementan las especificaciones de calidad del producto con el objetivo de diferenciarse y obtener el máximo beneficio. La tecnología existente permite la consecución de estos objetivos tanto a nivel de equipos diseñados como de sistemas de control para garantizar las condiciones seguras de la planta (Seborg, y otros, 1989)

El sistema de control de una planta se define como el conjunto de dispositivos destinados al mantenimiento de las variables de proceso en su valor fijado para la operación mediante la eliminación de las perturbaciones que se producen en él. Esta tarea es compleja y requiere de sistemas flexibles que respondan ante numerosos problemas en los equipos.

En esta sección se procede a la explicación cualitativa del sistema de control utilizado para garantizar la estabilidad de la planta de producción de isooctano. En primer lugar se presenta una breve introducción explicativa y, posteriormente, se describen los lazos de control presentes en el proceso, así como los indicadores y las alarmas.

### 9.2. OBJETIVOS

Los objetivos que presenta un sistema de control, por preferencia de importancia, se presentan a continuación (Marlin, 2000).

- Seguridad. Objetivo primordial de cualquier planta química. Por muy elevado que sea el beneficio económico de la planta y muy reducido el efecto contaminante que produce en el medio ambiente, si no se garantizan unas condiciones seguras la planta no puede operar. Los objetivos de seguridad se establecen para condiciones excepcionales.
- Protección ambiental. Con el objetivo de evitar problemas como las fugas o los derrames, se deben convertir los componentes potencialmente tóxicos en benignos.
- Protección de los equipos. Un correcto sistema de control permite la reducción de los costes de los equipos al mantener las condiciones a las que trabaja dentro de los intervalos adecuados.
- Mantenimiento de la operación. Asegurar, en todo momento, un caudal constante de entrada y salida del proceso.
- Calidad del producto. Debe garantizarse la concentración de las corrientes de salida según las especificaciones impuestas por la demanda. Esto se consigue mediante el mantenimiento de las condiciones de operación de la planta.

- Optimizar beneficios. Si la planta opera de manera segura y medioambientalmente aceptable, se prioriza en aumentar el beneficio. Para ello, se utilizan los recursos de la manera más eficaz posible y se reduce el consumo energético.
- Monitorización y diagnóstico. Necesario para las plantas, tanto manual como automático.

Con tales objetivos, se diseñan los lazos de control básicos para la planta de producción de isooctano. Su finalidad se basa en la medición, el control y la ejecución de acciones oportunas para contrarrestar las perturbaciones producidas en el sistema. Se presentan representados en el *Plano III: Diagrama de instrumentación y control del Documento II: Planos del proyecto*.

### 9.3. ELEMENTOS DE UNA LAZO DE CONTROL

Se presenta en la Figura 9.1, a modo de ejemplo, los elementos que conforman un lazo de control feedback, ampliamente utilizado en la industria.

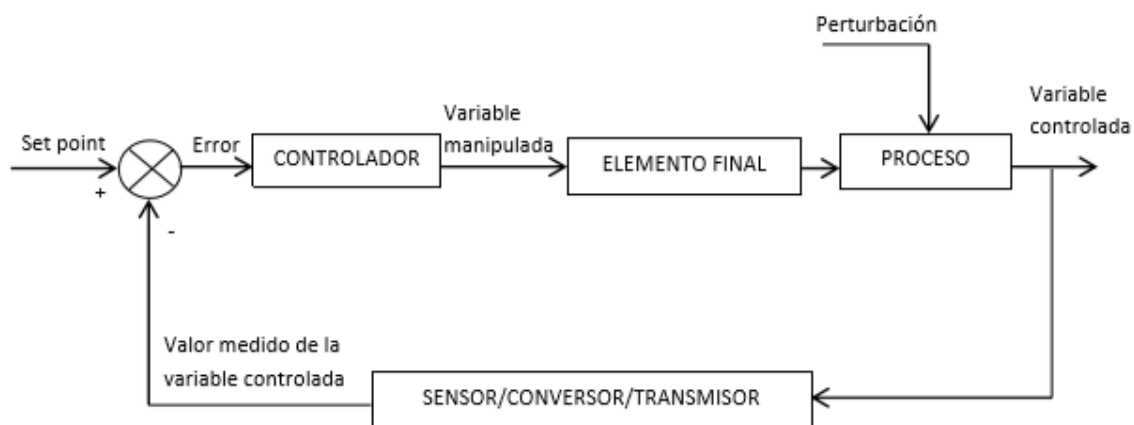


Figura 9.1. Elementos de un lazo de control feedback. Fuente: (Seborg, y otros, 1989).

#### 9.3.1. INSTRUMENTACIÓN

El primer paso para realizar el control de una variable se basa en su medición para conocer el valor en el que se encuentra. Si se presenta en el punto de consigna establecido no se desarrolla ninguna acción pero, en caso contrario, se presenta la necesidad, mediante un algoritmo, de calcular la medida a tomar para neutralizar la desviación del valor deseado.

El instrumento que lleva a cabo esta medición se conoce como indicador. Su función es medir un fenómeno físico cuyo valor es proporcional a la variable que se desea conocer. Mediante una calibración, se obtiene el dato de la condición de operación que se desea controlar. Según sea esta última se presentan diversos tipos de indicadores (Marlin, 2000).

#### 9.3.1.1. INDICADOR DE CAUDAL

Existe una amplia gama de alternativas de medidores de caudal entre lo que cabe comentar las placas de orificio, los tubos de Venturi, los rotámetros, las toberas de caudal o los tubos de Pitot, entre otros. Se valora la caída de presión que suponen las pérdidas por fricción en el paso por este medidor a la hora del diseño de las bombas o compresores.

#### 9.3.1.2. INDICADOR DE PRESIÓN

El sistema de medición de presión más utilizado es el manómetro, tanto de columna de líquido como Bourdon (deformando un elemento elástico y transmitiéndolo a una aguja medidora mediante engranajes) o el de diafragma (alterando la resistencia eléctrica de conductores por estiramiento del diámetro), entre otros.

#### 9.3.1.3. INDICADOR DE TEMPERATURA

Los termopares y las termorresistencias son los equipos destacados para medir la temperatura de un equipo. Comentar del primero su fundamento en el efecto Seebeck que explica que, por calentamiento de un extremo en un circuito cerrado de dos conductores diferentes, se genera una fuerza electromotriz dando lugar a un flujo de corriente.

#### 9.3.1.4. INDICADOR DE NIVEL

Para el control del nivel de un líquido dentro de un recipiente se utilizan dispositivos como el medidor de vidrio, permitiendo la observación visual mediante el principio de vasos comunicantes, o el medidor de presión diferencial, por medio de la presión llevada a cabo por la columna de líquido en el equipo. También comentar el medidor de flotador o el de ultrasonidos, basándose el último en el tiempo de llegada de la señal desde el sensor a la superficie del líquido y rebotar.

#### 9.3.1.5. INDICADOR DE CONCENTRACIÓN

Para ciertos casos, es necesario conocer la concentración de una corriente durante la operación del proceso. Un ejemplo de ello, aplicable a la planta de producción de isooctano es la necesidad de controlar la concentración de un ácido catalizador. Entre las alternativas existentes, comentar la utilización de un medidor de densidad, propiedad que se relaciona con la composición de la mezcla. Si se puede, se prefiere la toma de muestras periódicas para evitar la utilización de estos dispositivos.

## 9.4. CONTROL

El control se inicia con la medición de una variable con los dispositivos explicados anteriormente y se termina con el mantenimiento de la estabilidad de las condiciones de operación por medio de un elemento final. Por el medio existen los elementos que se presentan a continuación (ANSI/ISA-5.1-2009, 2009).

Tras el indicador o sensor se precisa de un transmisor y un conversor. El primero de ellos detecta la variable de proceso a través del sensor (que se puede encontrar integrado) y presenta una salida con valor de estado estacionario solo alterado como una función predeterminada de la variable de proceso. Por su parte, el segundo, transforma el tipo de señal recibida por el dispositivo de medición a otra captable por el controlador. También se sitúa este último a la salida del controlador para convertir la señal en la apropiada para el elemento final.

El controlador es el equipo central del sistema de control. Su función es la recepción del valor de la variable de proceso y, mediante un algoritmo, producir un cambio que permite convertir ese dato en el punto de consigna establecido. Un controlador automático varía automáticamente la salida en función de la entrada para regular esa variable. En cambio, el manual solo se puede ajustar por un operador y la salida no depende de una variable de proceso medible.

Por último, la señal de salida del controlador se envía a un elemento final, que puede ser un dispositivo neumático, eléctrico o hidráulico, cuya variación produce un cambio en la variable controlada. Lo más habitual es que se trate de una válvula de control. Estos dispositivos alteran el flujo de una corriente de proceso y, según lo que ocurra en caso de fallo, se distinguen entre las que se abren y las que se cierran totalmente. El tipo se establece en función de las condiciones del proceso.

## 9.5. NOMENCLATURA

Antes de la explicación de los lazos de control, se presentan las expresiones utilizadas en este ámbito (Marlin, 2000).

En primer lugar, la diferencia que existe entre la variable controlada y la variable manipulada radica en que la primera es seleccionada por parte de la ingeniería de procesos para cuantificar la calidad de un producto o el funcionamiento del equipo. Por ello se establecen una especificación del valor que debe presentar. En cambio, la segunda hace referencia a la variable que se puede ajustar de manera dinámica para que la controlada se encuentre en ese valor fijado.

Comentar también que este valor especificado para las variables controladas se conoce como punto de consigna o set point. Finalmente, mencionar la denominación de perturbación a las fluctuaciones que ocasionan un alejamiento de la variable controlada de su punto de consigna.

Con el objetivo de nombrar los lazos de control necesarios para contrarrestar el efecto de estas perturbaciones, se presenta a continuación la nomenclatura utilizada en la Figura 9.2.

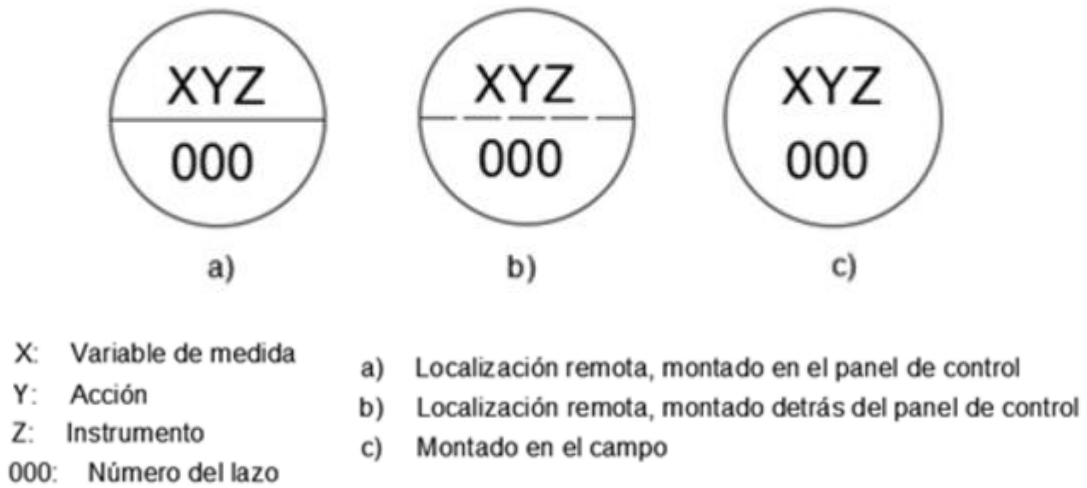


Figura 9.2. Variables y elementos de un lazo de control

En la Tabla 9.1 se presenta la nomenclatura utilizada para los lazos de control de la planta de isooctano, indicados en el *Plano 03: Diagrama de instrumentación y tuberías* del *Documento II: Planos del proyecto*, según la posición en la que se encuentre.

Tabla 9.1. Nomenclatura de los lazos de control.  
Fuente: (ANSI/ISA-5.1-2009, 2009).

Letra	Primera posición	Sucesivas posiciones
<b>A</b>	Composición	Alarma
<b>C</b>	-	Controlador
<b>F</b>	Caudal	-
<b>H</b>	-	Alto
<b>L</b>	Nivel	Bajo
<b>P</b>	Presión	-
<b>S</b>	-	Seguridad
<b>T</b>	Temperatura	Transmisor
<b>V</b>	-	Válvula
<b>Y</b>	-	Conversor

## 9.6. LAZOS DE CONTROL

En este apartado se procede a la descripción de los lazos de control existentes en la planta de producción de isooctano, organizados por secciones.

### 9.6.1. SECCIÓN 100: ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

#### 9.6.1.1. LAZO DE CONTROL LIC-101

El tanque pulmón TK-102 recibe la corriente de isobutano de la refinería anexa y regula su caudal de alimentación a proceso. Con tal objetivo, se utiliza un lazo de control que mide el nivel existente en el tanque y calcula el error en función del punto de consigna de 1,60 metros, exactamente la mitad de la altura total, donde el área es mayor y se controla mejor su estabilidad. En función del error se regula el caudal de llegada por medio de una válvula. Por tanto, este lazo feedback presenta los elementos de la Tabla 9.2.

Tabla 9.2. Elementos del lazo de control LIC-101

<b>Nombre</b>	<b>Elemento</b>	<b>Función</b>
<b>LT-101</b>	Transmisor de nivel	Medir el nivel del tanque TK-102
<b>LAH-101</b>	Alarma de alto nivel	Informar de nivel alto en el tanque TK-102
<b>LAL-101</b>	Alarma de bajo nivel	Informar de nivel bajo en el tanque TK-102
<b>LIC-101</b>	Controlador indicador de nivel	Indicar el valor de la medición del LT-101, calcular el error con el punto de consigna y determinar la apertura de la válvula LCV-101
<b>LY-101</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>LCV-101</b>	Válvula de control	Regular el flujo de isobutano alimentado al tanque TK-102

Así, cuando se produce un aumento de nivel del tanque pulmón TK-102 se regula el caudal de entrada por medio del cierre parcial de la válvula de control. Para caso contrario, el controlador procede a la apertura parcial de la misma. Comentar finalmente que el sistema de control cuenta con un bypass para casos de fallo en el tanque.

#### 9.6.1.2. LAZO DE CONTROL LIC-104

De igual manera ocurre con el tanque TK-101 pues su función es la de suministrar el reactivo limitante al reactor con un flujo constante. Por ello, mediante el lazo de control LIC-104 se regula el nivel existente de hidrocarburos en su interior, garantizando así un flujo de caudal constante en las tres salidas. Frente a perturbaciones producidas en la alimentación, el lazo controla la apertura de la válvula LCV-104 para mantener el nivel en el punto de consigna establecido en 1,91 metros. Los elementos del lazo se describen en la Tabla 9.3.

Tabla 9.3. Elementos del lazo de control LIC-104

Nombre	Elemento	Función
<b>LT-104</b>	Transmisor de nivel	Medir el nivel del tanque TK-101
<b>LIC-104</b>	Controlador indicador de nivel	Indicar el valor de la medición del LT-104, calcular el error con el punto de consigna y determinar la apertura de la válvula LCV-104
<b>LY-104</b>	Transductor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>LCV-104</b>	Válvula de control	Regular el flujo de buteno alimentado al tanque TK-104

El procedimiento de regulación del lazo de control es análogo al lazo LC-101.

#### 9.6.1.3. LAZO DE CONTROL LIC-105/106/107

Completando el control del suministro de buteno al reactor se establece un lazo de control para cada corriente que sale del tanque TK-101. De esta manera, se regula la apertura de la válvula correspondiente en función del nivel que se presente en el tanque, amortiguando el efecto de perturbaciones en la alimentación. Así, el funcionamiento global es el siguiente. En el caso de recibir un caudal elevado de la refinería, el nivel del tanque experimenta un aumento. Mientras que el lazo de control LIC-104 se encarga de regular el nivel y devolverlo a su punto de consigna, los lazos LIC-105/106/107 modifican las aperturas de las válvulas de las tres corrientes de salida para garantizar el suministro constante al reactor. Por tanto, estos tres lazos feedforward presentan de manera común los elementos de la Tabla 9.4.

Tabla 9.4. Elementos del lazo de control LIC-105/6/7

Nombre	Elemento	Función
<b>LT-104</b>	Transmisor de nivel	Medir el nivel del tanque TM-102
<b>LIC-105/6/7</b>	Controlador indicador de nivel	Indicar el valor del nivel del LT-104, calcular el error con el punto de consigna y determinar la apertura de la válvula LCV-105/6/7
<b>LY-105/6/7</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>LCV-105/6/7</b>	Válvula de control	Regular el flujo de buteno a la salida

#### 9.6.1.4. LAZO DE CONTROL LIC-110

EL tanque de mezcla TM-101 presenta como entradas las dos recirculaciones de las columnas de destilación y la alimentación de isobutano tras su paso por el tanque pulmón TK-102. Su función es proporcionar una salida homogénea para su introducción en el primer compartimento del reactor. Por tal motivo, mediante el lazo de control LIC-110 se estabiliza esta salida frente a fluctuaciones en el caudal mediante el control del nivel del tanque. Por motivo de la procedencia de las entradas, se decide situar la válvula de control en la corriente de alimentación de isobutano debido a su control en el tanque pulmón. Los elementos del lazo se describen en la Tabla 9.5

Tabla 9.5. Elementos del lazo de control LIC-110

Nombre	Elemento	Función
<b>LT-110</b>	Transmisor de nivel	Medir el nivel del tanque de mezcla TM-101
<b>LIC-110</b>	Controlador indicador de nivel	Indicar el valor de la medición del LT-110, calcular el error con el punto de consigna y determinar la apertura de la válvula LCV-110
<b>LY-110</b>	Transductor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>LCV-110</b>	Válvula de control	Regular el flujo de la alimentación fresca de isobutano alimentada al tanque TM-101

El procedimiento de regulación del lazo de control es análogo al lazo LC-101.



#### 9.6.1.5. LAZO DE CONTROL TIC-113

El intercambiador de calor EX-101 presenta la función de regular la temperatura de entrada del reactivo en exceso al reactor. Esta función es de destacada relevancia ya que una temperatura mayor conlleva la evaporación de un caudal excesivo antes de la entrada al primer compartimento y viceversa. Para ello, se presenta un lazo de control de temperatura que neutralice perturbaciones en la corriente. Por motivo de la existencia de un lazo de control de caudal en el tanque de mezcla TM-101 que alimenta al reactor se aseguran pequeñas variaciones en este parámetro. Además, todas las corrientes de entrada a dicho tanque presentan regulación de su temperatura en intercambiadores de calor, por lo que la única corriente sin controlar es la alimentación de isobutano, con un caudal sensiblemente menor y que se mezcla con las otras. Así se justifica la selección de un lazo feedback que garantice una temperatura estable en la salida. Los elementos que los conforman se presentan en la Tabla 9.6.

Tabla 9.6. Elementos del lazo de control TIC-113

Nombre	Elemento	Función
<b>TT-113</b>	Transmisor de temperatura	Medir la temperatura del intercambiador de calor EX-101
<b>TRC-113</b>	Controlador registrador de temperatura	Registrar el valor de la temperatura del intercambiador EX-101, calcular el error con el set point y determinar la apertura de la válvula
<b>TY-113</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>TCV-113</b>	Válvula de control	Regular el flujo de refrigerante

Así, cuando se incrementa la temperatura de salida, el controlador determina el error y envía una señal a la válvula de control para incrementar su apertura. En esta ocasión comentar que el controlador también registra el valor porque la temperatura de entrada al reactor es un parámetro importante en la planta, pues determina en gran medida la relación entre los caudales de salida líquida y de vapor del reactor.

## 9.6.2. SECCIÓN 200: REACCIÓN Y TRATAMIENTO DE ÁCIDO SULFÚRICO

### 9.6.2.1. LAZO DE CONTROL LIC-201/ LIC 213

El primer compartimento del reactor, denominado R-201-1, posee tres boquillas de entrada. Una de ellas es para la introducción del ácido sulfúrico, otra para el reactivo en exceso y otra para el limitante. En este equipo se produce la reacción de alquilación y, al igual que en los otros dos compartimentos, se desprende vapor como resultado de la autorefrigeración. El fluido resultante avanza hasta el segundo reactor pero, para evitar una posible situación de inundación por un aumento elevado del flujo de entrada, se regula este último con el lazo de control LIC-201. Se utiliza un indicador de nivel que, en caso de superar el punto de consigna, provoca que el control mande una señal a la válvula para reducir su apertura. El punto de control se establece en 2 metros de altura del nivel, la altura a la que el fluido rebosa y fluye al compartimento siguiente.

Este lazo feedback presenta los elementos descritos en la Tabla 9.7.

Tabla 9.7. Elementos del lazo de control LIC-201

Nombre	Elemento	Función
<b>LT-201</b>	Transmisor de nivel	Medir el nivel del primer compartimento del reactor
<b>LRC-201</b>	Controlador registrador de nivel	Registrar el valor de nivel del LT-201, calcular el error con el punto de consigna y determinar el porcentaje de apertura de la válvula LCV-201
<b>LY-201</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>LCV-201</b>	Válvula de control	Regular el flujo de isobutano alimentado al compartimento

El cuarto compartimento del reactor, utilizado para separar el catalizador de los hidrocarburos presenta el mismo lazo de nivel, en esta ocasión el LIC-213 con el objetivo de evitar una reducción del área de interfase para la decantación. Se presentan alarmas para evitar casos extremos en lo que se obtenga un caudal demasiado elevado o muy reducido del compartimento anterior. Sin embargo, el segundo y el tercer compartimento no presentan este lazo de control de nivel, tan sólo un indicador ya que, al controlar el primero y el decantador situado al final del reactor, se garantiza la estabilidad de los presentes entre ellos.

### 9.6.2.2. LAZO DE CONTROL PIC-202/PIC-205/PIC-209

Por motivo de la evaporación parcial de los compuestos con el objetivo de absorber la energía liberada en la producción de isooctano, se produce un aumento de presión en el reactor. Es necesario evitar fluctuaciones en este parámetro que alteren los caudales obtenidos por las dos salidas o, en caso excesivo, problemas de seguridad. Esta es la función del lazo de control PIC-202 mediante la regulación del caudal de vapor de salida. El punto de consigna se establece en 3 bares con el objetivo de obtener una temperatura global de reacción de 19,5°C entre los tres. Este lazo feedback presenta los elementos descritos en la Tabla 9.8.

Tabla 9.8. Elementos del lazo de control PIC-202

<b>Nombre</b>	<b>Elemento</b>	<b>Función</b>
<b>PT-202</b>	Transmisor de presión	Medir la presión del primer compartimento
<b>PIC-202</b>	Controlador indicador de presión	Indicar el valor de presión del PT-202, calcular el error con el punto de consigna y determinar el porcentaje de apertura de la válvula PCV-202
<b>PY-202</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>PCV-202</b>	Válvula de control	Regular el flujo de vapor retirado del primer compartimento

Con la misma función pero en los otros dos compartimentos se utilizan los lazos de control PIC-205 y PIC-209, respectivamente cuyos elementos y procedimiento de regulación es análogo siendo el punto de consigna de 2,86 y 2,70 bares, respectivamente. En los tres casos, el control se basa en la apertura de la válvula en caso de un aumento de presión y una reducción para caso contrario.

### 9.6.2.3. LAZO DE CONTROL FIC-217

El tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico presenta la función de introducir ácido al reactor en el caso de que el resultante de la decantación no posee el caudal necesario. Para ello, se utiliza el lazo de control FIC-217 que determina el caudal del ácido a la salida del tanque de separación y, en función de su valor, regula la válvula de control. Además, se realizan muestras periódicas por medio de la válvula de muestreo y, en el caso de que la concentración del catalizador descienda del 93% en masa, se procede a la apertura de la válvula de control de este lazo para reemplazar el volumen de ácido del reactor. Los elementos del lazo se describen en la Tabla 9.9.

Tabla 9.9. Elementos del lazo de control FIC-217

Nombre	Elemento	Función
<b>FT-217</b>	Transmisor de caudal	Medir el caudal del ácido a la salida del decantador
<b>FIC-217</b>	Controlador indicador de caudal	Indicar el valor de la medición del FT-217, calcular el error con el punto de consigna y determinar la apertura de la válvula FCV-217
<b>FY-217</b>	Transductor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>FCV-217</b>	Válvula de control	Regular la salida de ácido del tanque TK-202

Por tanto, mientras el caudal obtenido y su concentración se sitúen en el punto de consigna, la válvula permanece cerrada. Si la concentración desciende del 93% se envía a regenerar y se reemplaza abriendo la válvula. Por su parte, un descenso del caudal también conlleva la adición de ácido del tanque TK-202.

### 9.6.3. SECCIÓN 300: PURIFICACIÓN DEL VAPOR Y PURGA DE PROPANO

#### 9.6.3.1. LAZO DE CONTROL PIC-301

La función del compresor C-301 es el aumento de la presión de los vapores del reactor. Por motivo del control de este valor para la posterior condensación, se utiliza el lazo de control PIC-301. Se consigue así mayor estabilidad en la temperatura de salida, al estar ligada a la presión. Comentar que, en esta ocasión, el elemento final de control es el motor del compresor, encargado de regular la potencia suministrada al mismo.

Los elementos que forman este lazo feedback se presentan en la Tabla 9.10

Tabla 9.10. Elementos del lazo de control PIC-301

Nombre	Elemento	Función
<b>PT-301</b>	Transmisor de presión	Medir la presión de salida del compresor C-301
<b>PIC-301</b>	Controlador indicador de presión	Indicar el valor de la presión de salida del compresor C-301, calcular el error y regular la potencia del motor.
<b>M-301</b>	Motor del compresor C-301	Regular la potencia suministrada al compresor C-201

Así, cuando se produce un descenso en la presión por motivo de una perturbación, se determina el error y se actúa sobre el motor para aumentar la potencia suministrada, incrementando consecuentemente la presión de descarga. Mencionar que el eje del compresor está conectado al de la turbina por lo que, en función de la potencia obtenida en ella, se precisa suministrar más o menor por parte del motor y en este lazo es efectivo también para perturbaciones en dicha turbina.

#### 9.6.3.2. LAZO DE CONTROL FIC-302

Con el objetivo de completar el control del compresor C-301, utilizado para aumentar la presión del vapor resultante del reactor, se utiliza un lazo de control de flujo por recirculación, el FIC-302. Se dota así de mayor seguridad al equipo frente a alteraciones en el caudal cuando la presión aguas abajo del sistema es mayor que la presión de descarga del compresor. Así se regula la válvula FCV-302 con el objetivo de asegurar el caudal de consigna.

Los elementos que forman este lazo feedback se presentan en la Tabla 9.11.

Tabla 9.11. Elementos del lazo de control FIC-302

Nombre	Elemento	Función
<b>FT-302</b>	Transmisor de flujo	Medir el caudal de salida del compresor C-301
<b>FIC-302</b>	Controlador indicador de flujo	Indicar el valor del flujo de salida del compresor C-301, calcular el error con el punto de consigna y regular la válvula FCV-302
<b>FY-302</b>	Convertor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>FCV-302</b>	Válvula de control	Regular el flujo de caudal recirculado al compresor C-301

Así, cuando se reduce el caudal de salida del compresor C-201, se procede a una menor apertura de la válvula de recirculación para obtener el valor deseado. Se procede a un aumento del caudal de recirculación en caso contrario.

#### 9.6.3.3. LAZO DE CONTROL TIC-303

El intercambiador de calor EX-301 se utiliza para condensar los vapores del reactor R-201 tras su paso por el compresor C-301. Tras ello se procede a una impulsión en la bomba P-301 por lo que es necesario un control para asegurar su estado líquido. Se utiliza el lazo TIC-303 que mide la temperatura de salida y determina el error en función del punto de consigna de 52,24°C. En función de esta diferencia entre ambos valores se regula el caudal de fluido refrigerante por medio de la válvula LCV-303.

Por tanto, este lazo feedback presenta los elementos de la Tabla 9.12.

Tabla 9.12. Elementos del lazo de control TIC-303

Nombre	Elemento	Función
<b>TT-303</b>	Transmisor de temperatura	Medir la temperatura del condensador EX-301
<b>TIC-303</b>	Controlador indicador de temperatura	Indicar el valor de la temperatura de salida del condensador C-301, calcular el error con el punto de consigna y regula la válvula TCV-303
<b>TY-303</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>TCV-303</b>	Válvula de control	Regular el caudal de refrigerante

Así, cuando se detecta una temperatura superior a la salida por motivo de una perturbación, se actúa sobre la válvula de control aumentando el caudal del fluido refrigerante para contrarrestar el efecto. Añadir también que se sitúa una trampa de vapor antes de la entrada a la bomba para extraer una posible fracción de vapor a pesar de subenfriar el líquido. Todas estas medidas se añaden al subenfriamiento de varios grados del líquido obtenido tras la condensación para evitar la evaporación.

#### 9.6.3.4. LAZO DE CONTROL TIC-311/TIC-407

Para alcanzar la temperatura óptima para la destilación se utilizan dos intercambiadores de calor, siendo el primero para integración energética y el segundo para completar el calentamiento. Con el objetivo de controlar posibles fluctuaciones ocasionadas, por ejemplo, por el ensuciamiento en ambos intercambiadores, se utiliza el lazo de control TIC-311. A partir del valor obtenido de la temperatura de salida del segundo intercambiador se regula el flujo de agua refrigerante al mismo con el objetivo de mantener el valor en el punto de consigna de 86,45°C. Los elementos presentes en la lazo se describen en la Tabla 9.13.

El lazo TIC-407 resulta análogo para el calentamiento de la corriente de entrada a la columna de destilación T-401 con un punto de consigna de 67,50°C. El funcionamiento de ambos es idéntico al descrito en el lazo TIC-303 en lo referido a variable controlada y variable manipulada.

Tabla 9.13. Elementos del lazo de control FIC-311

Nombre	Elemento	Función
<b>TT-311</b>	Transmisor de temperatura	Medir la temperatura del intercambiador de calor EX-303
<b>TIC-311</b>	Controlador indicador de temperatura	Indicar el valor de la temperatura de salida del intercambiador EX-303, calcular el error según el set point y regular la válvula TCV-311
<b>TY-311</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>TCV-311</b>	Válvula de control	Regular el caudal de refrigerante

#### 9.6.3.5. LAZO DE CONTROL TIC-313/TIC-409

Se precisa un control del destilado de la columna con el objetivo de asegurar el caudal de propano a retirar, evitando su acumulación en la planta. Para ello se mide la temperatura de salida de cabezas, ya que refleja el punto de ebullición de la corriente, y se relaciona con su composición. Con tal motivo se establece el lazo de control TIC-313 que actúa sobre el caudal de reflujo para garantizar esa estabilidad en la concentración.

Los elementos que conforman este lazo se muestran en la Tabla 9.14.

Tabla 9.14. Elementos del lazo de control TIC-313

Nombre	Elemento	Función
<b>TT-313</b>	Transmisor de temperatura	Medir la temperatura de cabezas de la columna T-301
<b>TC-313</b>	Controlador indicador de presión	Indicar el valor de la temperatura de cabezas de la columna T-301, calcular el error según el set point y regular la válvula TCV-313
<b>TY-313</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>TCV-313</b>	Válvula de control	Regular el caudal de reflujo introducido en la columna

El lazo TIC-409 presenta la misma función controlando la corriente de cabezas pero en la otra columna, en la T-401.

#### 9.6.3.6. LAZO DE CONTROL PIC 314/PIC-410

Con el objetivo de mantener estable la presión de la columna de destilación T-301, se utiliza el lazo de control PIC-314 que actúa sobre el caudal de refrigerante en el condensador. Por tanto, mediante un aumento de la apertura de la válvula PCV-314 se condensa un mayor caudal y se disminuye la presión de cabezas de la columna consiguiendo estabilizar este parámetro en el punto de consigna. Se presentan los elementos de este lazo en la Tabla 9.15.

Tabla 9.15. Elementos del lazo de control PIC-314

Nombre	Elemento	Función
<b>PT-314</b>	Transmisor de presión	Medir la presión de cabezas de la columna
<b>PIC-314</b>	Controlador indicador de presión	Indicar el valor de la presión de cabezas de la columna T-301, calcular el error según el punto de consigna y regular la válvula TCV-314
<b>PY-314</b>	Conversor de señal	Transforma la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>PCV-314</b>	Válvula de control	Regular el caudal de refrigerante del condensador

El lazo PIC-410 presenta la misma función pues estabiliza la presión de cabezas pero en la otra columna, en la T-401.

#### 9.6.3.7. LAZO DE CONTROL LIC-315/LIC-411

Se utiliza un lazo de control para contrarrestar fluctuaciones que ocasionen cambios en el nivel del tanque de condensado del reflujo. Por tal motivo, el procedimiento es análogo al descrito en el lazo LIC-101 y el caudal que se modifica es el de la salida del propano.

Este lazo feedback presenta los elementos descritos en la Tabla 9.16.

Tabla 9.16. Elementos del lazo de control LIC-315

Nombre	Elemento	Función
<b>LT-315</b>	Transmisor de nivel	Medir el nivel del tanque TK-301
<b>LRC-315</b>	Controlador registrador de nivel	Registrar el valor de nivel del LT-315, calcular el error con punto de consigna y determinar el porcentaje de apertura de la válvula LCV-315
<b>LY-315</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>LCV-312</b>	Válvula de control	Regular el flujo de destilado de la columna

Comentar que el lazo de control LIC-411 posee la misma función y elementos ya que realiza el control del mismo equipo existente en la otra columna de destilación.



#### 9.6.3.8. LAZO DE CONTROL TIC-320/TIC-414

De igual manera que se regula la temperatura en la parte superior de la columna, se hace lo propio en la parte inferior. Por tanto, mediante la utilización del lazo de control TIC-320 se mide la temperatura y se mantiene en la de equilibrio actuando sobre la válvula reguladora de fluido calefactor en el reboiler. Así, si dicha temperatura posee un valor menor que el punto de consigna, se procede a una apertura mayor de la válvula para contrarrestar el efecto de la perturbación. Los elementos de este lazo de control se presentan en la Tabla 9.17.

Tabla 9.17. Elementos del lazo de control TIC-320

Nombre	Elemento	Función
<b>TT-320</b>	Transmisor de temperatura	Medir la temperatura de cabezas de la columna T-301
<b>TC-320</b>	Controlador indicador de presión	Indicar el valor de la temperatura de cabezas de la columna T-301, calcular el error según el set point y regular la válvula TCV-315
<b>TY-320</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>TCV-320</b>	Válvula de control	Regular el caudal de fluido calefactor en el reboiler de la columna T-301

El lazo TIC-414 presenta la misma función controlando la temperatura de colas de la desisobutanizadora.

#### 9.6.3.9. LAZO DE CONTROL LIC-321/LIC-415

La función que presenta el lazo LIC-321 es el control del nivel de líquido en el fondo de la columna. Así, mediante la regulación de la apertura de la válvula de control situada en la corriente de productos de colas se evita una situación de inundación en la columna de destilación, así como de que se vacíe. En el caso de aumentar el nivel, se extrae mayor caudal por colas contrarrestando la perturbación producida y, en caso contrario, se procede al cierre parcial de la misma.

De igual manera ocurre con el lazo LIC-415 en la otra columna de destilación.

Este lazo feedback presenta los elementos descritos en la Tabla 9.18.

Tabla 9.18. Elementos del lazo de control LIC-321

Nombre	Elemento	Función
<b>LT-321</b>	Transmisor de nivel	Medir el nivel de líquido en la columna T-301
<b>LRC-321</b>	Controlador registrador de nivel	Registrar el valor de nivel del LT-321, calcular el error con el punto de consigna y determinar el porcentaje de apertura de la válvula LCV-321
<b>LY-321</b>	Conversor de señal	Transformar la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>LCV-321</b>	Válvula de control	Regular el flujo de producto de colas de la columna T-301

#### 9.6.3.10. LAZO DE CONTROL TIC-324

La salida de colas de la despropanizadora se conduce al tanque de mezcla TM-101 para su posterior recirculación al reactor. Sin embargo, sus condiciones de salida de la columna de destilación propician la necesidad de un acondicionamiento de presión y temperatura. En lo referido al último parámetro se introduce en un intercambiador de calor para la integración energética y otro para completar la refrigeración. Por tanto, se establece un lazo de control para estabilizar la temperatura final, el TIC-324. Mediante la regulación del caudal de refrigerante se estabiliza la temperatura de salida en el punto de consigna de 39°C. Los elementos que posee este lazo se presentan en la Tabla 9.19.

Tabla 9.19. Elementos del lazo de control TIC-324

Nombre	Elemento	Función
<b>TT-324</b>	Transmisor de temperatura	Medir la temperatura del intercambiador EX-306
<b>TIC-324</b>	Controlador indicador de temperatura	Indicar el valor de la temperatura de salida del intercambiador EX-306, calcular el error según el set point y regular la válvula TCV-324
<b>TY-324</b>	Conversor de señal	Transforma la señal recibida por el controlador a otra que se envía al elemento final
<b>TCV-324</b>	Válvula de control	Regular el caudal de refrigerante

En el caso de producirse un aumento en la temperatura de salida, el controlador calcula el error y contrarresta el efecto de la perturbación incrementando la apertura de la válvula reguladora del caudal de refrigerante.

#### 9.6.4. SECCIÓN 400: PURIFICACIÓN DEL ISOOCTANO

En esta sección se controla la temperatura de entrada a la columna y las variables influyentes en ella. Estos últimos son la temperatura y la presión de cabezas, el nivel del líquido de la columna y el del tanque de reflujo y la temperatura de equilibrio en la parte inferior. Debido a la similitud con otros lazos ya descritos se han mencionado en estos simplemente.

#### 9.7. INDICADORES Y ALARMAS

Completando el sistema de control de la planta de producción de isooctano se presentan en la Tabla 9.20 y Tabla 9.21 los indicadores y las alarmas presentes, respectivamente.

##### 9.7.1. INDICADORES

Tabla 9.20. Indicadores de la planta de producción de isooctano

Nombre	Elemento	Función
<b>TI-102</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura del tanque TK-102
<b>TI-108</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura del tanque TK-108
<b>TI-111</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura del tanque de mezcla TM-101
<b>PI-115</b>	Indicador de presión	Indicar la presión de salida del intercambiador EX-101
<b>TI-203</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura del primer compartimento del reactor R-201
<b>TI-207</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura del segundo compartimento del reactor R-201
<b>LI-206</b>	Indicador de nivel	Indicar el nivel del segundo compartimento del reactor R-201
<b>TI-211</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura del tercer compartimento del reactor R-201
<b>LI-210</b>	Indicador de nivel	Indicar el nivel del tercer compartimento del reactor R-201
<b>TI-215</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura del ácido recirculado
<b>PI-216</b>	Indicador de presión	Indicar la presión del ácido recirculado
<b>LI-219</b>	Indicador de nivel	Indicar el nivel del tanque TK-202
<b>PI-221</b>	Indicador de presión	Indicar la presión del tanque TK-202
<b>TI-222</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura del tanque TK-202
<b>PI-223</b>	Indicador de presión	Indicar la presión de salida de la bomba P-201A
<b>PI-224</b>	Indicador de presión	Indicar la presión de salida de la bomba P-201B

<b>Nombre</b>	<b>Elemento</b>	<b>Función</b>
<b>TI-225</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura de entrada del ácido al reactor R-201
<b>TI-304</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura de entrada de la corriente de entrada al intercambiador de calor EX-301
<b>PI-306</b>	Indicador de presión	Indicar la presión de salida de la bomba P-301A
<b>PI-307</b>	Indicador de presión	Indicar la presión de salida de la bomba P-301B
<b>TI-308</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura de entrada de la corriente de tubos del intercambiador de calor EX-302
<b>TI-310</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura de salida de la corriente de tubos del intercambiador de calor EX-302
<b>TI-323</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura de salida de la corriente de carcasa del intercambiador de calor EX-302
<b>PI-326</b>	Indicador de presión	Indicar la presión de entrada de la turbina TB-301
<b>PI-327</b>	Indicador de presión	Indicar la presión de salida de la turbina TB-301
<b>PI-401</b>	Indicador de presión	Indicar la presión de salida de la bomba P-401A
<b>PI-402</b>	Indicador de presión	Indicar la presión de salida de la bomba P-401B
<b>FI-403</b>	Indicador de flujo	Indicar el flujo de salida de las bomba P-401A/B tras la decantación
<b>TI-404</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura de entrada de la corriente de tubos del intercambiador de calor EX-401
<b>TI-406</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura de salida de la corriente de tubos del intercambiador de calor EX-401
<b>TI-417</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura de entrada de la corriente de carcasa del intercambiador de calor EX-401
<b>TI-418</b>	Indicador de temperatura	Indicar la temperatura de salida de la corriente de carcasa del intercambiador de calor EX-401

### 9.7.2. ALARMAS

Las alarmas son dispositivos de aviso que establecen el sobrepaso de las condiciones límite de proceso. Presentan una frecuencia de paso menor que los sistemas de control y su finalidad es proporcional sonora o visualmente para tomar una acción correctiva por parte del operario.

Tabla 9.21. Indicadores de la planta de producción de isooctano

Nombre	Elemento	Función
<b>LAH-101</b>	Alarma de nivel alto	Alertar de nivel alto en el tanque TK-102
<b>LAL-101</b>	Alarma de nivel bajo	Alertar de nivel alto en el tanque TK-102
<b>LAH-104</b>	Alarma de nivel alto	Alertar de nivel alto en el tanque TK-101
<b>LAL-104</b>	Alarma de nivel bajo	Alertar de nivel alto en el tanque TK-101
<b>LAH-110</b>	Alarma de nivel alto	Alertar de nivel alto en el tanque de mezcla TM-101
<b>LAL-110</b>	Alarma de nivel bajo	Alertar de nivel alto en el tanque de mezcla TM-101
<b>LAH-201</b>	Alarma de nivel alto	Alertar de nivel alto en el primer compartimento del reactor R-201
<b>PAH-202</b>	Alarma de presión alta	Alertar de presión alta en el primer compartimento del reactor R-201
<b>PAH-205</b>	Alarma de presión alta	Alertar de presión alta en el segundo compartimento del reactor R-201
<b>PAH-209</b>	Alarma de presión alta	Alertar de presión alta en el tercer compartimento del reactor R-201
<b>LAH-213</b>	Alarma de nivel alto	Alertar de nivel alto en el tanque TK-201
<b>LAL-213</b>	Alarma de nivel bajo	Alertar de nivel alto en el tanque TK-201
<b>FAL-302</b>	Alarma de flujo bajo	Alertar de flujo bajo en el compresor C-301
<b>TAH-313</b>	Alarma de temperatura alta	Alertar de temperatura alta en la columna T-301
<b>PAH-314</b>	Alarma de presión alta	Alertar de presión alta en la columna T-301
<b>PAL-314</b>	Alarma de presión baja	Alertar de presión baja en la columna T-301
<b>LAH-315</b>	Alarma de nivel alto	Alertar de nivel alto en el tanque TK-301
<b>LAL-315</b>	Alarma de nivel bajo	Alertar de nivel alto en el tanque TK-301
<b>LAH-321</b>	Alarma de nivel alto	Alertar de nivel alto en la columna T-301
<b>LAL-321</b>	Alarma de nivel bajo	Alertar de nivel alto en el tanque T-301
<b>TAH-409</b>	Alarma de temperatura alta	Alertar de temperatura alta en la columna T-401
<b>PAH-410</b>	Alarma de presión alta	Alertar de presión alta en la columna T-401
<b>PAL-410</b>	Alarma de presión baja	Alertar de presión baja en la columna T-401
<b>LAH-411</b>	Alarma de nivel alto	Alertar de nivel alto en el tanque TK-401
<b>LAL-411</b>	Alarma de nivel bajo	Alertar de nivel alto en el tanque TK-401
<b>LAH-415</b>	Alarma de nivel alto	Alertar de nivel alto en la columna T-401
<b>LAL-412</b>	Alarma de nivel bajo	Alertar de nivel alto en el tanque T-401

## 10. NORMATIVA, LEGISLACIÓN Y CÓDIGOS DE DISEÑO

Se procede a la referencia a la referencia de las normas, legislación y códigos de diseño que rigen el desarrollo de este proyecto.

### 10.1. NORMAS

Para comenzar, se presentan las normas básicas influyentes sobre diferentes ámbitos de la instalación.

#### 10.1.1. NORMAS DE EDIFICACIÓN

NBE-NTE: Normas Básicas de Edificación. Código Técnico de Edificación “Real Decreto 3565/1972” (BOE de 28/03/2006):

- NBE-CPI/97: Condiciones de protección contra incendios.
- NBE-MV-102: Estructuras de acero.
- NBE-MV-103: Acero laminado para estructuras de edificación.
- NTE-ADE: Acondicionamiento del terreno. Desmontes. Explanaciones
- NTE-ADV: Acondicionamiento del terreno. Desmontes. Vaciados.
- NTE-ADZ: Acondicionamiento del terreno. Desmontes. Zanjas y pozos.
- NTE-ASD: Acondicionamiento del terreno. Saneamiento. Drenajes y avenimientos.
- NTE-CSS: Cimentaciones Superficiales. Corridas
- NTE-CSZ: Cimentaciones Superficiales. Zapatas.
- NTE-IEE: Instalaciones de electricidad. Iluminación exterior.
- NTE-IEI: Instalaciones de electricidad. Iluminación interior.
- NTE-IEP: Instalaciones de electricidad. Puesta a tierra.
- NTE-IER: Instalaciones de electricidad. Red exterior.
- NTE-EAS: Estructuras de acero. Soportes.
- NTE-EAV: Estructuras de acero. Vigas.
- NTE-EME: Estructuras de Madera. Enconfrados.
- NTE-EH: Estructuras de hormigón.

#### 10.1.2. NORMAS SE SEGURIDAD Y SALUD

- E.B.S.: Estudio Básico de Seguridad y Salud
- R.A.M.I.N.P.: Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.

### 10.1.3. OTRAS NORMAS

- R.E.B.T Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- R.E.A.T Reglamento Electrotécnico de Alta Tensión.
- NCS-10: Norma de Instalaciones fijas de Prevención y Contra Incendios.

## 10.2. LEGISLACIÓN

De igual manera que las normas, se presentan según el campo al que afectan:

### 10.2.1. LEGISLACIÓN RELATIVA A LA CONSTRUCCIÓN

- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

Modificado por:

- Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. (B.O.E. nº 127 de 29/05/2006).
- Real Decreto 337/2010, de 19 de marzo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención; el Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción. (B.O.E. nº 71 23/03/2010).
- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la edificación.

### 10.2.2. LEGISLACIÓN RELATIVA A LA ELECTRICIDAD

- Real Decreto 842/2002. Reglamento electrotécnico para baja tensión. BOE de 18 de septiembre de 2002, modificado por el Real Decreto 560/2010.

### 10.2.3. LEGISLACIÓN RELATIVA A LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES, SEGURIDAD E HIGIENE

#### 10.2.3.1. PRINCIPIOS GENERALES

- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria. (BOE de 23 de julio con sus posteriores modificaciones).
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. (B.O.E. de 10 de noviembre, con sus modificaciones posteriores)
- Real Decreto Ley 2/2015, de 23 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.

#### 10.2.3.2. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de riesgos Laborales. (BOE de 10 de noviembre, con sus posteriores modificaciones).
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Servicios de Prevención. (BOE de 31 de enero, modificado por el Real Decreto 899/2015, de 9 de octubre).

#### 10.2.3.3. SEGURIDAD Y SALUD

- Real Decreto 1879/1996, de 2 de agosto, por el que se regula la composición de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (B.O.E. de 31 de enero)
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. (B.O.E. de 7 de agosto). Transposición de la Directiva 89/655/CE.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. (B.O.E. de 27 de abril)
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. (B.O.E. de 23 de abril)
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en la manipulación de cargas pesada. (B.O.E. de 14 de abril).
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. (B.O.E. de 23 de abril).
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. (B.O.E. de 21 de junio).



- Real Decreto 330/2009 de 13 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. (B.O.E. de 26 de marzo).
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. (B.O.E. de 17 de diciembre).
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Equipos a Presión y sus instrucciones técnicas. (BOE de 5 de febrero).
- Real Decreto 379/2012, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y su instrucción técnica complementaria MIEAPQ-1 para almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles. (BOE de 10 de mayo).

#### 10.2.3.4. HIGIENE

- Ordenanza General de Seguridad de Higiene en el trabajo, de 9 de marzo de 1971. (BOE de 16 de marzo, con sus posteriores modificaciones).
- Real Decreto 374/2001 relativo a la Protección de la Salud y la Seguridad de los Trabajadores contra los Riesgos relacionados con los Agentes Químicos durante el Trabajo. (BOE de 1 de mayo). Transposición Directiva 2000/39/CE.
- Real Decreto 840/2015 por el que se aprueban Medidas de Control de los Riesgos inherentes a los Accidentes Graves en los que intervengan Sustancias Peligrosas. (BOE de 20 de octubre).

#### 10.2.4. LEGISLACIÓN RELATIVA AL MEDIO AMBIENTE

##### 10.2.4.1. EMISIONES ATMOSFÉRICAS

- Real Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de protección del ambiente atmosférico. (B.O.E. de 22 de abril)
- Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. (B.O.E. de 21 de noviembre)
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación. (B.O.E. nº 157 02/08/2002)

- Directiva 2004/101/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad con respecto a los mecanismos de proyectos del Protocolo de Kioto. (DOUE 13 de noviembre).
- Real Decreto-ley 5/2004, de 27 de agosto, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. (B.O.E. nº 208 28/08/2004).
- Ley 34/2007, de 75 de noviembre, de Calidad del aire y Protección Atmosférica. (BOE del 16 de noviembre).
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

#### 10.2.4.2. GESTIÓN DE RESIDUOS

- Directiva del Consejo, de 18 de marzo de 1991, por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos.
- Directiva 94/31/CE del Consejo, de 27 de junio de 1994, por la que se modifica la Directiva 91/689/CEE relativa a los residuos peligrosos.
- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos. (B.O.E. de 30 de julio)
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. (B.O.E. de 29 de julio).

#### 10.2.4.3. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

- Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo. (B.O.E. de 2 de noviembre)
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Ley 16/2002, de 28 de junio, de Protección contra la Contaminación Acústica. (B.O.E. de 25 de julio).
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. (B.O.E. de 18 de noviembre)
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

#### 10.2.4.4. IMPACTO AMBIENTAL

- Directiva 97/11/CE del Consejo, de 3 de marzo de 1997, por el que se modifica la Directiva 85/337/CEE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente DOUE de 21 de julio.
- Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre la responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños ambientales. (DOUE de 30 de abril).
- Reglamento 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo del 18 de enero, relativo al establecimiento de un registro de emisiones y transferencia de contaminantes.
- Decisión del Consejo, de 20 de octubre de 2008, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo sobre evaluación estratégica del medio ambiente de la Convención de Espoo de 1991 de la CEPE/ONU sobre la evaluación del impacto ambiental en un contexto transfronterizo.
- Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero. (B.O.E. de 25 de marzo).

### 10.3. CÓDIGOS DE DISEÑO

Se presentan, finalmente, los códigos utilizados para el diseño de los equipos de la planta.

#### 10.3.1. CÓDIGOS GENERALES

- U.N.E. (Normalización, España)
- A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers).
- T.E.M.A. (American Tubular Exchanger Manufacturers Association).
- DIN (Deutsches Institut für Normung, Alemania).
- BS (British Standards, Gran Bretaña).

## 11. SEGURIDAD EN EL DISEÑO Y EN LA OPERACIÓN

### 11.1. INTRODUCCIÓN

A continuación se procede a realizar una serie de análisis con el objetivo de estudiar la seguridad de la planta. En primer lugar se llega a cabo una clasificación de la misma para conocer si, según las compuestos existentes y sus volúmenes, se considera una instalación Seveso. Tras ello, se clasifican las sustancias existentes y se estudia su reactividad descontrolada.

Acto seguido, se presentan las distancias mínimas que deben presentar los equipos en la planta y la consecución de las mismas con su representación en un plano y se realiza un análisis elemental de los riesgos del reactor siguiendo el Índice DOW.

### 11.2. CLASIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Para llevar a cabo la clasificación de la instalación se sigue el procedimiento descrito en la Directiva 2012/18/UE del 4 de julio de 2012. Para ello, es necesario realizar en primer lugar un inventario de sustancias y, tras ello, clasificarlas en función de su toxicidad e inflamabilidad, determinando así los umbrales que permiten la clasificación de la instalación.

#### 11.2.1. INVENTARIO DE SUSTANCIAS

Con el objetivo de dotar de seguridad a la instalación y prevenir accidentes graves donde se presenten sustancias peligrosas o, como mínimo, reducir sus consecuencias ocasionadas a las personas, bienes y medio ambiente al máximo se ha elaborado el Real Decreto 840/2015, del 21 de septiembre. El documento aprueba medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves donde intervengan sustancias peligrosas (B.O.E. del 20 de octubre de 2015).

Es necesario comprobar el ámbito de aplicación para corroborar que el presente Real Decreto debe aplicarse a esta instalación. Por tanto, analizando el artículo 3 se entiende por establecimiento “la totalidad del emplazamiento bajo el control en el que se encuentren sustancias peligrosas en una o varias instalaciones, incluidas en la infraestructura o actividades comunes o conexas”. Para comprender las sustancias que se consideran peligrosas se cita del apartado 21 del mismo artículo que una sustancias peligrosa es “toda sustancia o mezcla incluida en la parte 1 o enumerada en la parte 2 del anexo I, incluyendo aquellas en forma de materia prima, producto, subproducto, residuo o producto intermedio”.

Se procede a la realización del inventario según lo descrito anteriormente, enumerando las sustancias existentes en la producción de isooctano y añadiendo sus propiedades más destacadas. Como complemento de la información se adjuntan las fichas de seguridad en el *ANEXO 3: Fichas de seguridad*.

Los compuestos se presentan en las Tabla 11.1 a Tabla 11.6.

Tabla 11.1. Propiedades físicas y termodinámicas del propano

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Presión de vapor (20°C), kPa</b>	853
<b>Densidad relativa (aire =1)</b>	1,84
<b>Punto flash, °C</b>	-104
<b>Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire</b>	9,35
<b>Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire</b>	2,12
<b>Temperatura de autoignición, °C</b>	470

Tabla 11.2. Propiedades físicas y termodinámicas del butano

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Presión de vapor (20°C), kPa</b>	214
<b>Densidad relativa (aire =1)</b>	2,46
<b>Punto flash, °C</b>	-60,15
<b>Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire</b>	8,4
<b>Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire</b>	1,8
<b>Temperatura de autoignición, °C</b>	365

Tabla 11.3. Propiedades físicas y termodinámicas del isobutano

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Presión de vapor (20°C), kPa</b>	241
<b>Densidad relativa (aire =1)</b>	2,45
<b>Punto flash, °C</b>	-62,1
<b>Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire</b>	8,5
<b>Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire</b>	1,9
<b>Temperatura de autoignición, °C</b>	370

Tabla 11.4. Propiedades físicas y termodinámicas del buteno

Propiedad	Valor
Presión de vapor (20°C), kPa	232
Densidad relativa (aire =1)	2,23
Punto flash, °C	-62,1
Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire	9,2
Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire	2,0
Temperatura de autoignición, °C	368

Tabla 11.5. Propiedades físicas y termodinámicas del isooctano

Propiedad	Valor
Presión de vapor (20°C), kPa	2,8
Densidad relativa (aire =1)	3,87
Punto flash, °C	-11,9
Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire	6,0
Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire	1,0
Temperatura de autoignición, °C	410

Tabla 11.6. Propiedades físicas y termodinámicas del dodecano

Propiedad	Valor
Presión de vapor (20°C), kPa	0,4
Densidad relativa (aire =1)	5,96
Punto flash, °C	74,0
Límite superior de explosividad (20°C), % vol. aire	4,8
Límite inferior de explosividad (20°C), % vol. aire	0,6
Temperatura de autoignición, °C	238

### 11.2.2. CLASIFICACIÓN SEVESO

Conocidas ya las sustancias, se procede a la clasificación de la planta en función de la directiva Seveso. Para ello se analizan dos parámetros, la toxicidad y la inflamabilidad de los compuestos. En lo referido al primero, se presenta el grado de toxicidad en las fichas de seguridad presentes en el *Anexo 3: Fichas de seguridad*. Por otro lado, la inflamabilidad se determina en función de las siguientes consideraciones (Comisión Europea, 2003):

- Líquidos inflamables. Sustancias y preparados con un punto de inflamación igual o superior a 21°C e inferior a 55°C y que mantengan la combustión.
- Líquidos muy inflamables.
  1. A. Sustancias y preparados que puedan calentarse y llegar a inflamarse en contacto con el aire a temperatura ambiente sin ningún tipo de energía añadida
  - B. Sustancias y preparados cuyo punto de inflamación sea inferior a 55°C y permanezcan en estado líquido bajo presión, cuando determinada formas de tratamiento, como presión o temperaturas elevadas, puedan crear riesgos de accidentes graves
  2. Sustancias y preparados cuyo punto de inflamación sea inferior a 21°C y que no sean extremadamente inflamables.
- Líquidos extremadamente inflamables.
  1. Sustancias y preparados líquidos cuyo punto de inflamación sea inferior a 0°C y punto de ebullición se encuentre por debajo de 35°C a presión normal.
  2. Gases inflamables en contacto con el aire a temperatura y presión atmosférica que estén en estado gaseoso o supercrítico.
  3. Sustancias y preparados líquidos inflamables y muy inflamables mantenidos a una temperatura superior a su punto de ebullición

Por tanto, los compuestos de la planta de producción de isooctano presentan las características descritas en la Tabla 11.7.

Tabla 11.7. Características de los compuestos

Sustancia	Inflamabilidad	Toxicidad
<b>Propano</b>	Extremadamente inflamable	No tóxico
<b>n-Butano</b>	Extremadamente inflamable	No tóxico
<b>i-Butano</b>	Extremadamente inflamable	No tóxico
<b>Buteno</b>	Extremadamente inflamable	No tóxico
<b>Isooctano</b>	Muy inflamable	No tóxico
<b>Dodecano</b>	No inflamable	No tóxico
<b>Ácido sulfúrico</b>	No inflamable	Toxicidad aguda

Tras conocer las características de los compuestos se descartan aquellos que no sean peligrosos y para los demás se analizan los umbrales establecidos en el Anexo I de la Directiva 2012-28-UE del 4 de julio de 2012, expresados en toneladas. Conocida la masa máxima existente en la planta se clasifica la instalación. Los resultados se presentan en la Tabla 11.8.

Tabla 11.8. Umbrales de los compuestos

Sustancia	Cantidad aproximada	Umbral inferior (t)	Umbral superior (t)
<b>Propano</b>	20,50	50	200
<b>n-Butano</b>	58,25	50	200
<b>i-Butano</b>	720,30	50	200
<b>Buteno</b>	12,25	50	200
<b>Isooctano</b>	34,50	50	200
<b>Ácido sulfúrico</b>	35,20	200	500

Debido al valor superior del umbral en el caso del isobutano, la instalación se clasifica bajo la Directiva Seveso.

### 11.3. CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS

Complementando la caracterización de las sustancias presentes en la planta de producción de isoocetano iniciada en la sección anterior se procede a realizar su clasificación NFPA. Así, se presentan sus riesgos según el denominado diamante de materiales peligrosos, presentado en la Figura 11.1.



Figura 11.1. Diamante de materiales peligrosos. Fuente: (NFPA, 2002)



En la Tabla 11.9 se presentan dichos diagramas de clasificación de la sustancias

Tabla 11.9. Clasificación NFPA

Compuesto	Diagrama
<b>Propano</b>	<p>NFPA diagram for Propano: Health 2, Flammability 4, Instability 0, Special 0.</p>
<b>Butano</b>	<p>NFPA diagram for Butano: Health 1, Flammability 4, Instability 0, Special 0.</p>
<b>Isobutano</b>	<p>NFPA diagram for Isobutano: Health 0, Flammability 4, Instability 0, Special 0.</p>
<b>Buteno</b>	<p>NFPA diagram for Buteno: Health 1, Flammability 4, Instability 0, Special 0.</p>
<b>Isooctano</b>	<p>NFPA diagram for Isooctano: Health 1, Flammability 3, Instability 0, Special 0.</p>
<b>Dodecano</b>	<p>NFPA diagram for Dodecano: Health 1, Flammability 2, Instability 0, Special 0.</p>
<b>Ácido sulfúrico</b>	<p>NFPA diagram for Ácido sulfúrico: Health 3, Flammability 0, Instability 2, Special W.</p>

## 11.4. ESTUDIO DE REACTIVIDAD DESCONTROLADA

Se procede a realizar un análisis de las reacciones secundarias que se pueden producir en el reactor. Se inicia el estudio comentando que los compuestos existentes se dividen en tres grupos. Por un lado se encuentran los hidrocarburos saturados, por otro los insaturados y, finalmente, el ácido sulfúrico. Por tanto, las reacciones se comentan a nivel de los tres grupos y son aplicables a cualquier compuesto que forma parte de ellos.

En primer lugar, comentar que los hidrocarburos saturados reaccionan con los insaturados dando lugar a la alquilación y la polimerización. Se denomina alquilación cuando se transfiere un grupo alquilo de una molécula a otra. Debido a la gran presencia de hidrocarburos existen diferentes alternativas que producen diferentes hidrocarburos con peso molecular variable. Sin embargo, la alquilación no se considera reactividad descontrolada ya que, además de ser la reacción deseada para producir isooctano, los demás productos posibles también se pueden añadir a la gasolina, aunque no presentaría la misma calidad.

En segundo lugar, y enmarcada dentro de reactividad descontrolada, se presenta la reacción de polimerización, altamente exotérmica. Si no se controla la alimentación de buteno, este compuesto puede polimerizar. Además la temperatura de reacción posee especial relevancia. Si se produce un problema en el reactor que desemboque en un incremento de temperatura, se favorece la reacción secundaria de polimerización, se incrementa cada vez más la temperatura y la reacción se descontrola. De ahí que se trabaje a una temperatura de 19,5°C en el reactor.

Un análisis de compatibilidad, presentado en la Figura 11.2 permite apreciar que la reacción de ácido sulfúrico con hidrocarburos es peligrosa y, si no se controla adecuadamente las condiciones de operación, induce a la polimerización con el consiguiente descontrol. Comentar también la posibilidad de producirse óxidos de carbono e hidrógeno, aumentando la presión del equipo. Por ello, se precisa un control riguroso de las condiciones con sistemas de parada de emergencia y válvulas de alivio para solucionar posible problemas comentados de presión. Se procede al diseño de la válvula de alivio del reactor en el siguiente apartado.

Simplemente añadir la baja reactividad de los hidrocarburos con la mayoría de los compuestos, exceptuando los ácidos y bases fuertes. En cambio, son compuestos extremadamente inflamables por lo que una fuga puede poseer consecuencias muy graves ya que, en caso de una fuente de ignición, debido a la presencia de oxígeno en el aire, puede dar lugar a un incendio o una explosión. Añadir también que la densidad superior a la del aire provoca su almacenamiento en el suelo, conllevando también problemas por inhalación en los trabajadores en elevadas concentraciones.

Mezcla Compatibility Chart	BUTANE	BUTYLENE	ISOBUTANE	ISOOCTANE	N-DODECANE	PROPANE	SULFURIC ACID
BUTANE							
BUTYLENE	Y						
ISOBUTANE	Y	Y					
ISOOCTANE	Y	Y	Y				
N-DODECANE	Y	Y	Y	Y			
PROPANE	Y	Y	Y	Y	Y		
SULFURIC ACID	N	N	N	N	N	N	

Figura 11.2. Análisis de compatibilidad química

### 11.5. VÁLVULAS DE ALIVIO

Las válvulas de alivio son dispositivos de seguridad que se utilizan para extraer un fluido de un equipo con el objetivo de reducir su presión en el caso de producirse un problema que genera un aumento de este parámetro. Se procede a la explicación de su procedimiento de diseño siguiendo la normativa API.

En primer lugar, se presenta la ecuación de dimensionamiento del área de una válvula de alivio certificada de presión de un líquido, numerada como (11.1). Se decide dimensionar para un líquido ya que se va a aplicar al reactor de alquilación en el cual, en caso de producirse un incremento de presión los vapores condensan y se extrae todo el caudal introducido como líquido para solucionar ese problema.

$$A = \frac{11,78 Q}{K_d K_w K_c K_v} \sqrt{\frac{G}{p_1 - p_2}} \quad (11.1)$$

Donde A es el área efectiva de descarga (mm<sup>2</sup>), Q es el caudal de líquido a extraer (L/min), p<sub>1</sub> es la presión de alivio resultante de la sobredimensión de la presión de operación (kPa), p<sub>2</sub> es la contrapresión de la válvula (kPa) y G la gravedad específica del líquido. Por su parte, K<sub>d</sub> es el coeficiente efectivo de descarga, el cual, para un dimensionamiento, se toma como 0,65 si es una válvula de alivio y 0,62 si es un disco de ruptura, K<sub>w</sub> es un factor de corrección en función de la contrapresión de la válvula, K<sub>c</sub> es el factor que depende de la presencia de un disco de ruptura complementando la válvula y K<sub>v</sub> es el factor de corrección por viscosidad. Por tanto, en la Tabla 11.10, se presentan los valores para determinar el área.

Tabla 11.10. Área de descarga

Parámetro	Valor
Caudal a extraer (kg/h)	1.190
Sobrepresión (%)	10
Presión de alivio (kPag)	440
Contrapresión (kPag)	138
Coeficiente K <sub>d</sub>	0,65
Coeficiente K <sub>w</sub>	0,975
Coeficiente K <sub>c</sub>	1,00
Coeficiente K <sub>v</sub>	1,00
Área de descarga (mm <sup>2</sup> )	1.168

Por tanto, se precisa una válvula tipo K con un diámetro de 38,86 mm (Crosby, 1997). Se precisa una en cada compartimento del reactor.

## 11.6.IMPLANTACIÓN

### 11.6.1. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de establecer la disposición de los equipos en la planta, se analizan las condiciones de seguridad requeridas en términos de distancias necesarias entre ellos.

El objetivo principal es la reducción del tamaño necesario de la planta pero, para ello, es prioritariamente necesario el aislamiento de los procesos que resulten peligrosos, el establecimiento de distancias suficientes para el mantenimiento y movimiento de materiales y la ubicación correcta de acceso para casos de emergencia. Tras ello, se incorporan las utilidades en zonas seguras para no ser dañadas en caso de accidente y los edificios centrales se sitúan de tal manera que, sin implicar un riesgo, reduzcan las distancias a recorrer por parte del personal. Finalmente, se desarrollan los sistemas de comunicación con el objetivo de mantener los diferentes tipos de tráfico segregados.

Se presenta en el *Plano 04: Implantación del Documento II: Planos del proyecto* la distribución y de la planta de producción de isooctano.

### 11.6.2. BLOQUES DE LA PLANTA

Una primera organización se lleva a cabo en función de los bloques de proceso existente en la planta de producción de isooctano. Para ello, se presenta en la Figura 11.3 lo recomendado por *Global Asset Protection Services (GAP)*.

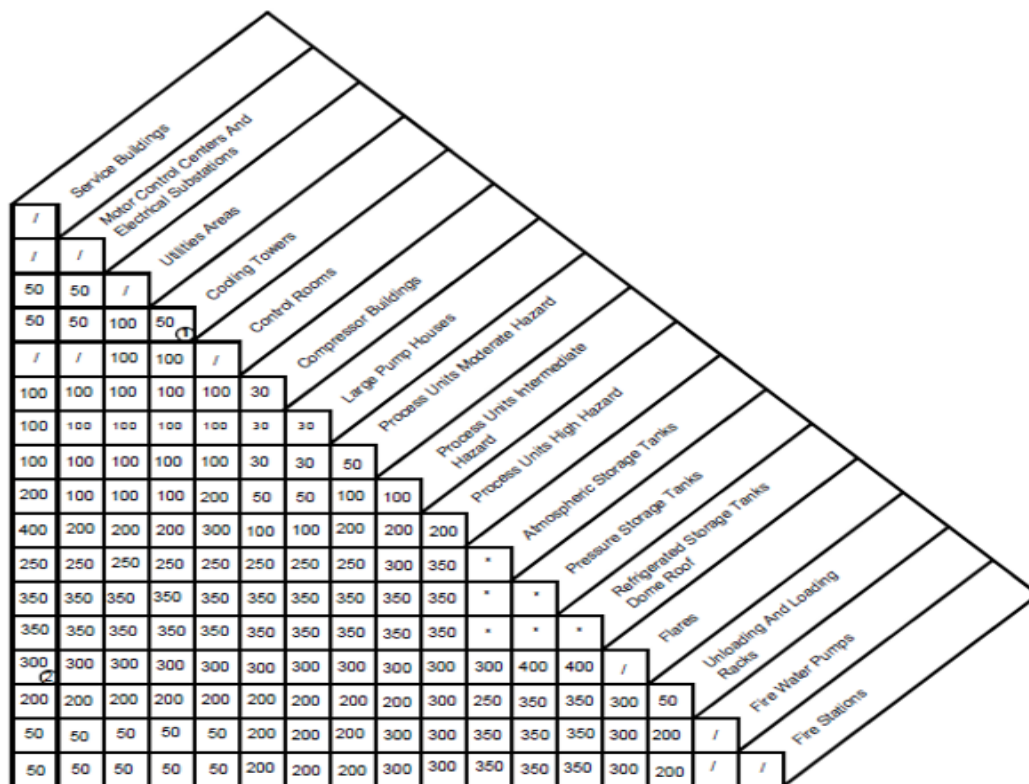


Figura 11.3. Separación entre bloques de proceso en ft (1ft=0,305m)

Los bloques de proceso en los que se estructura la planta de este proyecto son los siguientes:

- A. Tanques de almacenamiento de reactivos
- B. Acondicionamiento de materia prima.
- C. Reacción.
- D. Purificación del vapor.
- E. Purificación del líquido.
- F. Almacén, taller y tratamiento de residuos.
- G. Servicios de utilidades
- H. Recepción, oficinas, comedor y vestuarios.
- I. Laboratorios y sala de control.

Por tanto, según lo descrito en la Figura 11.3, se presenta en la tabla Tabla 11.11 las distancias mínimas recomendadas entre ellos.

Tabla 11.11. Distancias entre bloques de proceso de la planta de producción de isooctano

Distancias	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A		106,75	106,75	106,75	106,75	106,75	106,75	106,75	106,75
B	106,75		61,00	61,00	61,00	30,50	30,50	30,50	30,50
C	106,75	61,00		61,00	61,00	122,00	61,00	122,00	61,00
D	106,75	61,00	61,00		61,00	122,00	61,00	122,00	61,00
E	106,75	61,00	61,00	61,00		122,00	61,00	122,00	61,00
F	106,75	30,50	122,00	122,00	122,00		15,25	-	-
G	106,75	30,50	61,00	61,00	61,00	15,25		15,25	15,25
H	106,75	30,50	122,00	122,00	122,00	-	15,25		-
I	106,75	30,50	61,00	61,00	61,00	-	15,25	-	

### 11.6.3. DISTANCIA ENTRE EQUIPOS

Tras la distribución de los bloques de proceso, se determina la distancia mínima entre equipos de cada bloque.

Para llevar a cabo esta actividad, se analizan las características propias de cada equipo destacando, entre ellas, su peligrosidad. Se presenta en la la separación mínima entre los equipos.

Para su comprensión citar que MS se corresponde con el espaciado mínimo de 61m, SS se refiere al *Singapore Standard on Tank Separation & Spacing*, BC es el *Singapore Building Code*, FC es *Fire Code*, ACC indica que se corresponde con el acceso mínimo para personal y mantenimiento (0,8-1,2 m) y LPG hace referencia a los *API Standards for LPG spacing to property line & NFPA 58*.



[illegible]

A continuación se presentan los equipos de la planta de producción de isooctano.

- A. Tanque
- B. Intercambiador de calor
- C. Bomba
- D. Reactor
- E. Compresor
- F. Turbina
- G. Columna de destilación

Por tanto, según lo descrito en la Figura 11.4, se presenta en la Tabla 11.12 las distancias mínimas requeridas entre estos equipos.

Tabla 11.12. Distancias mínimas de los equipos de la planta de producción de isooctano

<b>Distancias</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>A</b>	-	15	8	30	8	8	30
<b>B</b>	15	ACC	ACC	ACC	ACC	ACC	ACC
<b>C</b>	8	ACC	2	3	8	8	3
<b>D</b>	30	ACC	3	3	3	3	3
<b>E</b>	8	ACC	8	3	3	3	3
<b>F</b>	8	ACC	8	3	3	3	3
<b>G</b>	30	ACC	3	3	3	3	2



### 11.7.ÍNDICE DOW DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

Con la finalidad de analizar la posibilidad de incendio y explosión en los diferentes equipos de proceso y aplicándolo para la determinación del daño máximo probable de la propiedad, DOW Chemical ha desarrollado un método sistemático, la guía DOW. Con ello, se evalúa cualquier operación donde un material inflamable, combustible o reactivo de almacena, maneja o trata.

A continuación, se aplica lo comentado al reactor, objeto detallado de este proyecto.

En primer lugar se determina el Índice de Incendio y Explosión (IIE) según el Apéndice A existente en dicha guía y, en función del factor material, al que se le aplican unos coeficientes en función de los riesgos generales y especiales del proceso.

Analizando los primeros, los parámetros influyentes son los presentes en la Tabla 11.13.

Tabla 11.13. Riesgos generales del proceso

<b>Factor</b>	<b>Penalización</b>
<b>Factor base</b>	1,00
<b>A. Reacción exotémica</b>	0,50
<b>B. Transferencia y manejo de materiales</b>	0,25
<b>C. Unidades de proceso cerradas</b>	0,00
<b>D. Acceso</b>	0,00
<b>E. Desagües</b>	0,25
<b>Factor de riesgos generales del proceso</b>	2,25

Para el primer factor, se aplica un coeficiente de 0,5 al tratarse de una reacción exotérmica. Se aplica exactamente ese por estar especificado en la propia guía. Además, la reacción secundaria de polimerización presenta la misma penalización por lo que se corrobora el valor. En segundo lugar, se aplica el factor de manejo y transferencia del material ya que, en esta ocasión, se utiliza, tan una bomba para la impulsión del ácido. El tercer parámetro no aplica, en esta ocasión, al tratarse de una planta al aire libre, de igual manera que el cuarto, referido al acceso, ya que se considera adecuado por las diferentes entradas a la planta de los equipos de emergencia. Finalmente, comentar que el coeficiente relacionado con los drenajes se toma debido a la presencia de una piscina al efecto para reducir las consecuencias de una fuga.

Se procede de igual manera con los riesgos especiales del proceso, presentando los resultados en la Tabla 11.14.

Tabla 11.14. Riesgos especiales del proceso

<b>Factor</b>	<b>Penalización</b>
<b>Factor base</b>	1,00
<b>A. Temperatura</b>	
1. Superior al punto de inflamación	0,30
2. Superior al punto de ebullición	0,60
3. Superior al punto de autoignición	0,00
<b>B. Presión baja</b>	0,00
<b>C. Operación en condiciones de inflamabilidad o cercanas</b>	0,30
<b>D. Explosión de polvo</b>	0,00
<b>E. Presión de tarado de válvula de alivio</b>	0,25
<b>F. Baja temperatura</b>	0,00
<b>G. Cantidad de material inflamable</b>	
1. Líquidos o gases de proceso	1,20
2. Líquidos o gases almacenados	0,00
3. Sólidos combustible almacenados	0,00
<b>H. Corrosión y erosión</b>	0,20
<b>I. Fugas, uniones y empaquetaduras</b>	0,30
<b>J. Uso de calentadores a fuego</b>	0,00
<b>K. Sistemas de intercambio térmico con aceite</b>	0,00
<b>L. Compresores, bombas y equipos rotativos</b>	0,00
<b>Factor de riesgos generales del proceso</b>	4,15

Comenzando por la temperatura, se toman esos tres valores por trabajar a un valor de la misma superior al punto de inflamación, de ebullición pero no de autoignición, respectivamente. Referido a la presión baja, se considera penalización nula al no trabajar a presión inferior a la atmosférica. El coeficiente relacionado con las operaciones de inflamabilidad se valora con ese factor por el caso de un fallo en los instrumentos que puede desencadenar la reacción secundaria de polimerización de manera descontrolada. Como no se procede al tratamiento de ningún tipo de partícula, este factor no aplica. El factor referido a la presión de alivio se toma considerando la presión de tarado de tarado de la válvula de alivio. Por su parte, el factor de la temperatura baja no aplica. Tratando el apartado G, se determina la penalización valorando los kilos de material y su entalpía de combustión. El factor de corrosión es el resultante de valorar la velocidad de este fenómeno en el reactor como consecuencia, principalmente, del ácido sulfúrico. El factor de fugas se toma valorando la eficacia de la soldadura.

No se presentan calentadores a fuego ni intercambio de calor con aceites térmicos, por lo que su factor no aplica. Finalmente, tampoco aplica el factor de bombas por no precisar una impulsión superior a 75 cv.

Por tanto, tras obtener los dos factores de riesgo del proceso, tanto el general como el especial, se multiplican y se obtiene el factor de riesgo de la unidad, el cual, multiplicado por el factor del material, valor medio para los compuestos del reactor, permite obtener el índice de incendio y explosión. Con ayuda de la Figura 11.5 se determina el radio de exposición y, con él, el área correspondiente. Se presentan los parámetros comentados en la Tabla 11.15.

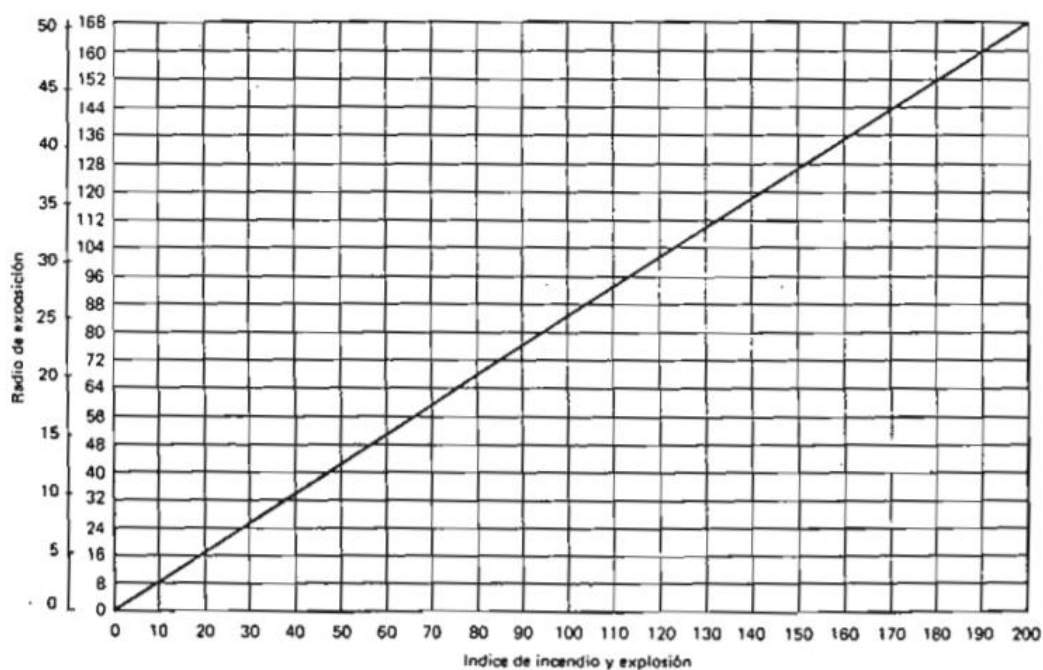


Figura 11.5. Cálculo del radio de exposición. Fuente: (INSHT, 2006)

Tabla 11.15. Cálculo del área de exposición

Parámetro	Valor
<b>Factor de material</b>	21
<b>Índice de incendio y explosión</b>	196
<b>Radio de exposición (m)</b>	48
<b>Área de exposición (m)</b>	7.238

El área de exposición se presenta de manera gráfica en la Figura 11.6.

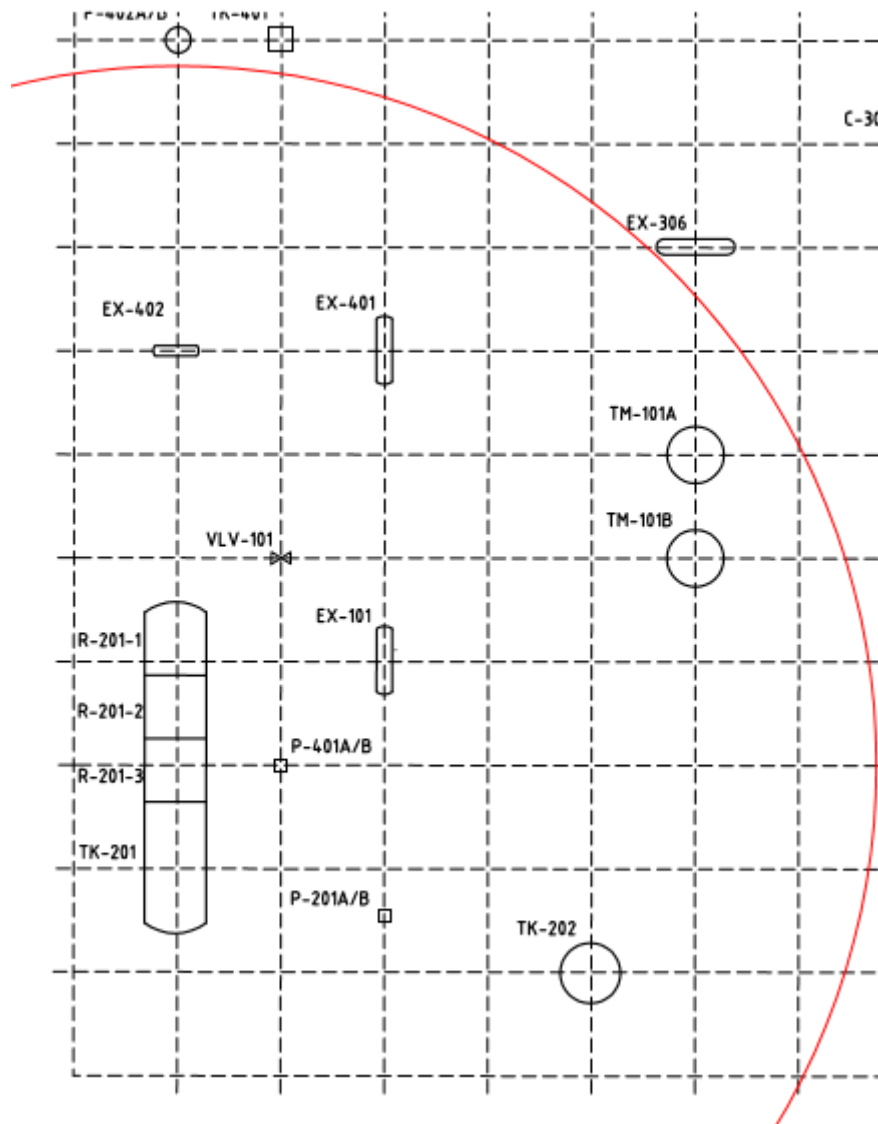


Figura 11.6. Área de exposición ante un incendio o explosión en el reactor

Tras ello, se determina el daño básico máximo probable de la propiedad (MPPD Básico). Este parámetro se determina con el valor de sustitución del equipo dentro del área de exposición cuya fórmula se determina con la

$$\text{Valor sustitución} = \text{Costo original} \cdot C \cdot \text{Factor de escala} \quad (11.2)$$

El valor de la constante C es 0,82, de origen estadístico y el factor de escala se toma como la unidad. Por tanto, conocido el coste de los equipos encontrados dentro del área de exposición y el valor de las existencias de productos en flujo, se determina el MPPD Básico.

Finalmente, se consideran tres parámetros que permiten reducir el valor de este daño. En primer lugar el coeficiente  $C_1$  se obtiene según el control del proceso, el  $C_2$  por aislamiento de material y  $C_3$  según la protección contra el fuego, siguiendo los criterios descritos en la guía. En función del valor del producto de los tres coeficientes se obtiene un factor de bonificación efectivo por el que se multiplica el MPPD básico para obtener el real según la gráfica Figura 11.7.

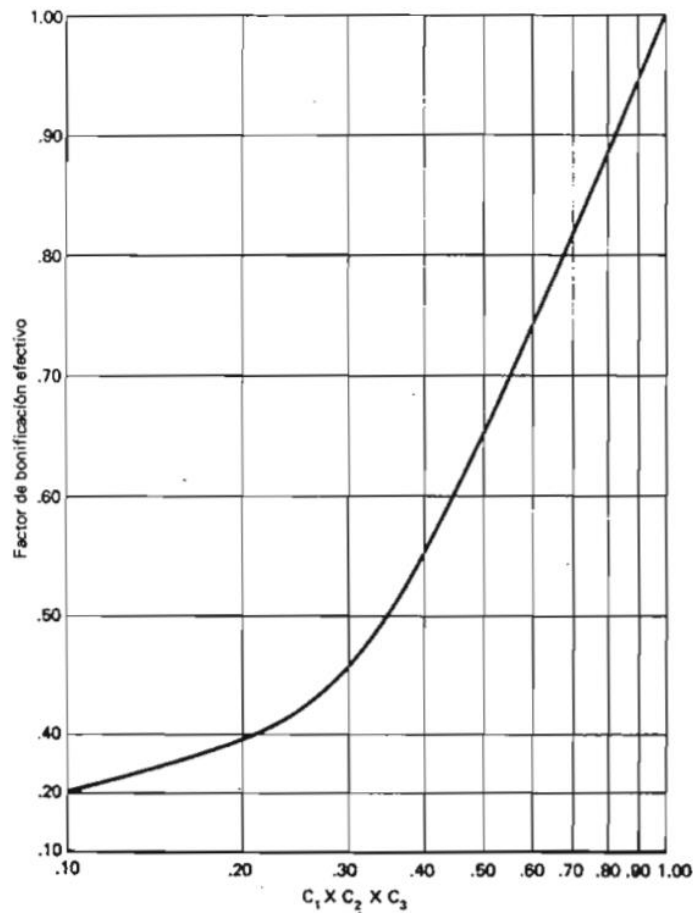


Figura 11.7. Factor de bonificación efectivo.

Fuente: (INSHT, 2006)

Este valor conocido como MPPD real representa una estimación de la pérdida por daño a la propiedad resultante del peor incidente probable en ese equipo. En caso de fallo de los sistemas de protección, se puede alcanzar el valor del MPPD básico, por tanto, aunque sea prácticamente imposible que coincida con este valor en caso de problema en el reactor, sirve como base razonable para realizar otros estudios posteriores como el análisis de riesgo del capital invertido. Considerando el valor real y la Figura 11.8 se determina una aproximación del número de días perdidos causados por un daño no programado.

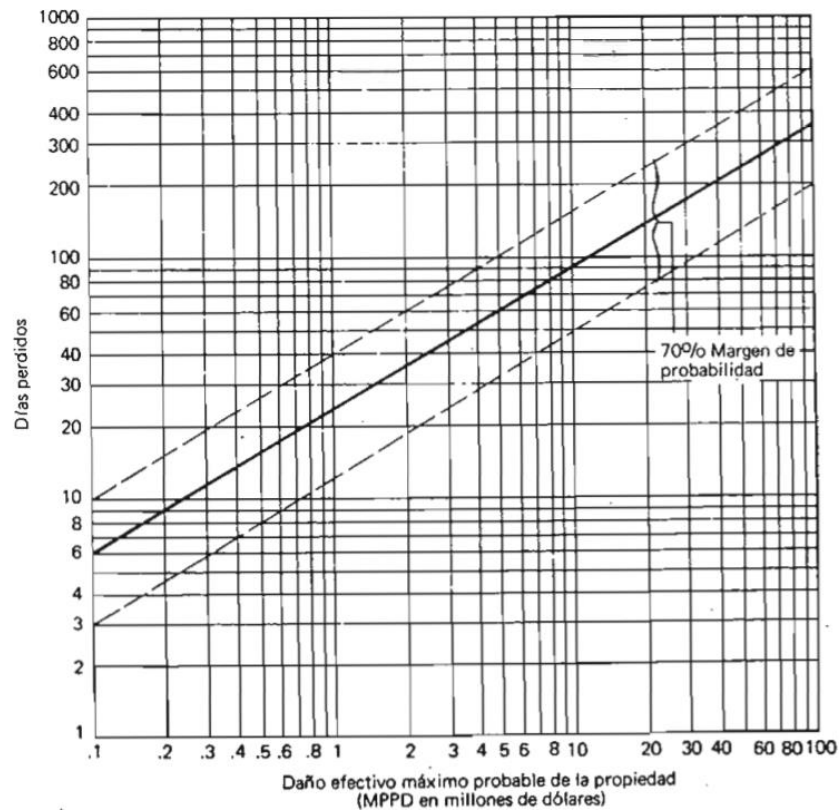


Figura 11.8. Cálculo del número de días perdidos. Fuente: (INSHT, 2006)

Se presenta los resultados finales en la Tabla 11.16.

Tabla 11.16. Cálculo de días perdidos

Parámetro	Valor
Coste original	924.674
MPPD básico	758.233
Coefficiente $C_1$	0,65
Coefficiente $C_2$	0,85
Coefficiente $C_3$	0,68
Factor de bonificación efectivo	0,53
MPPD real	401.863
Número de días perdidos	14

## 12. Bibliografía

ALBRIGHT, Lyle F. y otros. *Alkylation of isobutne with C4 olefins using sulfuric acid catalyst*. Indiana, EE.UU. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1988.

ANSI/ISA-5.1-2009. *Instrumentaion Symbols and Identification*. American National Standar. Carolina, EE.UU, 2009. ISBN: 978-1-936007-29-5.

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Eter Metil Terbutílico*. California, EE.UU, 2002.

CARPIO, M. . Ramos. *Refino de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica*. Madrid, España, 1998.

CEPSA. 2006. *Especificaciones del propano comercial*, Real Decreto 61/2006, 2006 [En línea]. [En línea] [ Citado el 15 de Marzo] [Disponible en: [https://www.cepasa.com/stfls/CepasaCom/Lubricantes/ficheros/ficheros/pdf/especificaciones\\_producto\\_propano.pdf](https://www.cepasa.com/stfls/CepasaCom/Lubricantes/ficheros/ficheros/pdf/especificaciones_producto_propano.pdf)]

COMISIÓN EUROPEA. *Directiva 2003/105/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2003*, 2003 [En línea] [ Citado el 22 de Marzo] [Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:345:0097:0105:ES:PDF>]

CORES. *Análisis de los productos derivados del petróleo*. España, 2017.

CROSBY. *Pressure Relief Valve Engineering Handbook*. EE.UU, 1997.

ELVERS, Barbara. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Nueva York. Advisory Board, 1989.

FRANCISCO J. Sánchez, OVIEDO, Alfredo. *Perspectivas para la producción de alquilato*. Bogotá, Colombia, 2005.

GRIFFIN, Rodger W. *Modern Organic Chemistry*. Florida, EE.UU. Reverté, S. A., 1981.

GUEVARA, Manuel Carrasco y Edilberto. *Efectos ambientales del uso de MTBE como oxigenante en la formulación de gasolinas*. Venezuela. Revista Ingeniería UC, 2001.

HOMMELTOFT, Sven Ivar. *Isobutane alkylation: Recent developments and future perspectives*. Science Direct. Elsevier, 2001.

HONEYWELL UOP. *Reactor Internals*, 2017 [En línea] [Citado el: 12 de 03 de 2017.] [Disponible en: <https://www.uop.com/equipment/>.]

IHS MARKIT. NExOctane, Isooctane Process, 2003 [En línea] [Citado el: 12 de 03 de 2017.] [Disponible en <https://www.ihs.com/products/chemical-technology-pep-reviews-nexoctane-isooctane-process-2003.html>]

- INSHT. *Índice de incendios y explosión*. Barcelona, España., 2006.
- JOURNAL & OIL GAS. *Precios de compuestos del GLP*. 2017.
- LLADO, José. *Aspectos de la industria Petroquímica*. Madrid, España. Sociedad de estudios y publicaciones, 1962.
- LOUIS F. Fieser. *Química Orgánica Fundamental*. Universidad de Harvard, EEUU. Reverté S.A., 1985.
- LUYBEN, William. *Design and Control of an Autorefrigerated Alkylation Process*. Department of Chemical Engineering, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, 2009.
- MARLIN, Thomas E. *Process Control*. EE.UU. McGraw-Hill, 2000. ISBN: 0-07-039362-1.
- MCKETTA, John J. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. Nueva York, EEUU. Marcel Dekker, 1977.
- METEOCAT. *Climatología de Tarragona*, 2017.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. *Real Decreto 61/2006*. [En línea] [Citado el: 31 de 01 de 2006]. [Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-2779](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-2779)].
- NESTEJACOBS. NExOCTANE. *Isobutylene to Premium Octane Value Component*, 2008. [En línea] [Citado el: 12 de 03 de 2017.] [Disponible en: <http://www.nestejacobs.com/njx-process-technologies/nexoctane/>].
- NFPA. *NFPA 704*, 2002 [En línea] [Citado el: 18 de 05 de 2017.] [Disponible en: <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Norma-NFPA-704.pdf>].
- NORTON ENGINEERING. *Alkylation Technology Study*, 2016. [En línea] [Citado el: 12 de 03 de 2017.] [Disponible en: <http://www.aqmd.gov/docs/default-source/permitting/alkylation-technology-study-final-report.pdf>]
- OIL SAND MAGAZINE. *2016 World Oil Production*. 2016.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION. *Motor Vehicle Pollution. Reduction Strategies Beyond 2010*. París, 1995.
- OWEN, K. y COLEY, T. *Automotive Fuels Reference Book*. SAR International, 1995.
- PIGOTT, W. D. *Oxygenates and Future Demands for Transport Fuels*. Londres, Reino Unido, 1982.
- RENEWABLE FUELS FOUNDATION. *Changes in Gasoline IV*. 2009. [En línea]. [Citado el: 09 de 03 de 2017.] [Disponible en: <http://www.ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2015/09/ChangesinGasolineManualIV-UpdatedLogo.pdf>]



SCHIFTER, Isaac y SALINAS, Esteban López. *Usos y abusos de la gasolina*. México, 1998. ISBN: 968-16-5723-3.

SEBORG, Dale E., EDGAR, Thomas F. y MELLICHAMP, Duncan A. *Process Dynamics and Control*. EE.UU. John Wiley & Sons, 1989. ISBN: 0-471-86389-0.

SEIDER, W. D. *Product and Process design principles. Synthesis, Analysis and Evaluation*. New York. Wiley & Sons, 2004.

SKOOG, Douglas A., WEST, Donald M. y HOLLER, F. James. *Fundamentos de Química Analítica*. Barcelona, España. Reverté S.A., 2015. ISBN:978-0-495-55828-6.

STRATCO. *Engineering Design. The Contactor Reactor*. Arizona, Estados Unidos, 2017.

URPÍ, J.L. Lluch. *Tecnología y margen de refino de petróleo*. Madrid, 2008.

USHER, A.B. Payson. *A History of Mechanical Inventions*. Nueva York, EE.UU, 1988.

WATKINS, R. N. *Petroleum Refinery Distillation*. Texas, EEUU. Gulf Publishing Company, 1979.

WIEDERKEHR, Peter. *Motor Vehicle Pollution*. París, Francia, 1995. ISBN: 978-9264143128.

WILEY, John. *Encyclopedia of chemical technology*. Nueva York. Staff, 1995.

---

# ANEXO I: BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

---

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOOCTANO

# ÍNDICE DEL ANEXO I

1.	Balance de materia global.....	3
2.	Balances de materia individuales.....	4
2.1.	Tanque TK-101.....	4
2.2.	Tanque de mezcla TM-101 .....	5
2.3.	Reactor R-201-1.....	6
2.4.	Reactor R-201-2.....	7
2.5.	Reactor R-201-3.....	8
2.6.	Separador de fases TK-201.....	9
2.7.	Columna de destilación T-301 .....	10
2.8.	Columna de destilación T-401 .....	11
3.	Balance de energía.....	13
3.1.	Introducción.....	13
3.2.	Intercambiadores de calor.....	13
3.3.	Bombas, compresor y turbina .....	14
3.4.	Reactor.....	15

## 1. BALANCE DE MATERIA GLOBAL

En primer lugar, se presenta el balance de materia global teniendo en cuenta las dos alimentaciones de materia prima (corrientes 1 y 43) y las tres salidas, la de cabezas de la columna de destilación T-301 con el objetivo de purgar propano (corriente 19), la salida lateral de la columna de destilación T-401 con el objetivo de purgar butano (corriente 39) y la de colas de este mismo equipo con el producto deseado y el subproducto (corriente 42). Se presentan los resultados en la Tabla 1.1.

Los números de las corrientes se corresponden con lo expuesto en el *Plano 02: Diagrama de flujo* del Documento II: Planos del proyecto.

Tabla 1.1. Balance de materia global del proceso

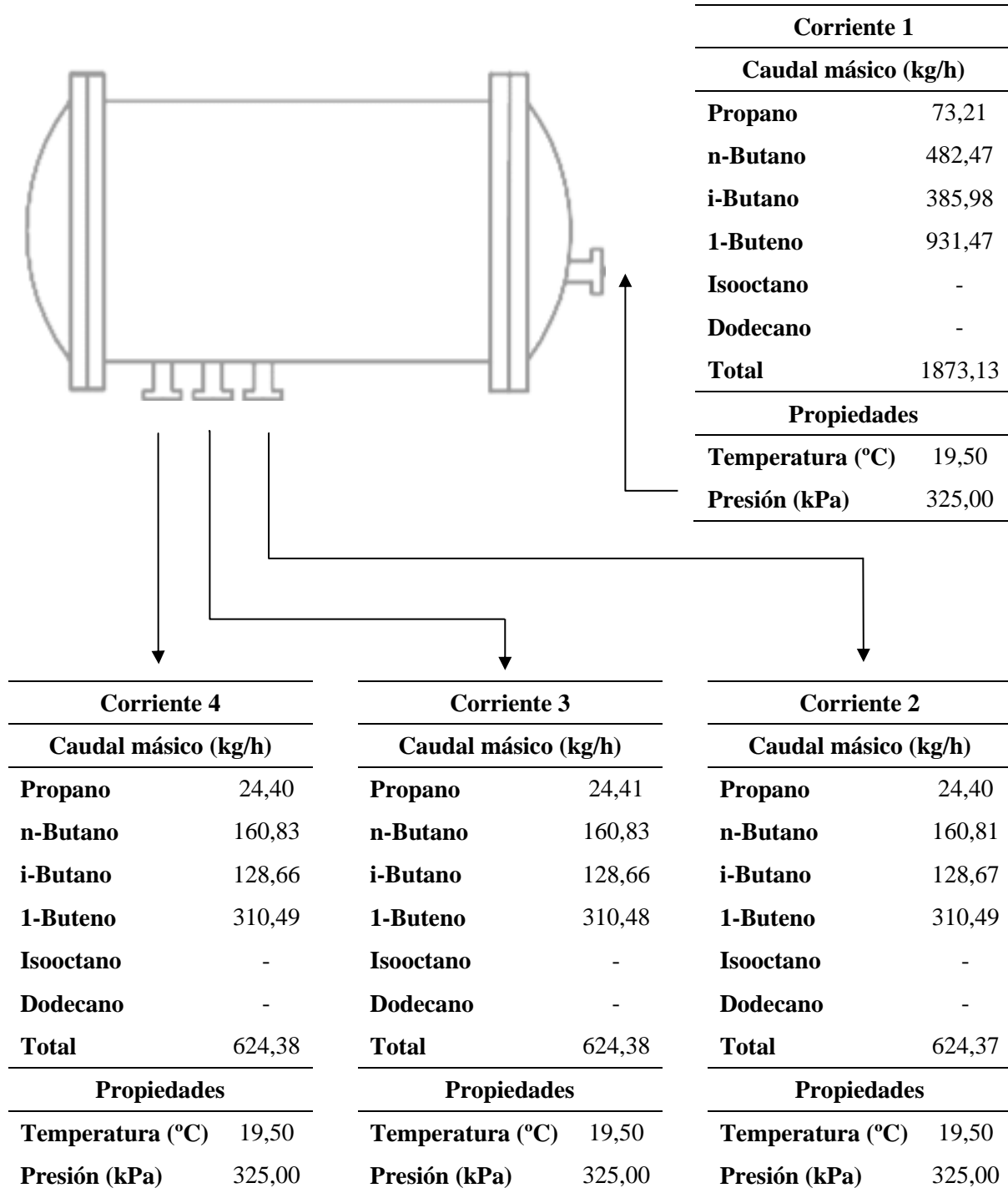
Compuesto	Entrada		Salida		
	1 (kg/h)	43 (kg/h)	19 (kg/h)	39 (kg/h)	42 (kg/h)
<b>Propano</b>	73,21	41,70	114,91	-	-
<b>n-Butano</b>	482,47	494,64	-	929,60	47,51
<b>Isobutano</b>	385,98	549,60	14,63	6,09	0,01
<b>1-buteno</b>	931,47	-	-	1,18	-
<b>Isooctano</b>	-	-	-	14,43	1687,45
<b>Dodecano</b>	-	-	-	0,65	142,61
<b>Total</b>	1873,13	1085,94	129,54	951,95	1877,58
<b>Cierre del balance</b>	<b>2959,07</b>		<b>2959,07</b>		

Se corrobora así la conservación de la materia y la purga del mismo caudal de inertes que se introduce en la planta evitando su acumulación.

## 2. BALANCES DE MATERIA INDIVIDUALES

En esta sección se analizan individualmente los equipos en los que se produce un cambio en la composición entre la entrada y la salida, presentando los caudales de cada componente de las corrientes.

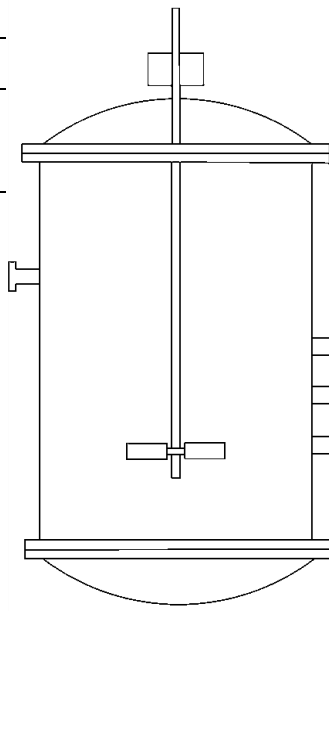
### 2.1. TANQUE TK-101



## 2.2. TANQUE DE MEZCLA TM-101

Corriente 44	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	881,86
n-Butano	2.202,38
i-Butano	36.430,48
1-Buteno	10,84
Isooctano	5,24
Dodecano	-
Total	39.530,80
Propiedades	
Temperatura (°C)	39,00
Presión (kPa)	550,00

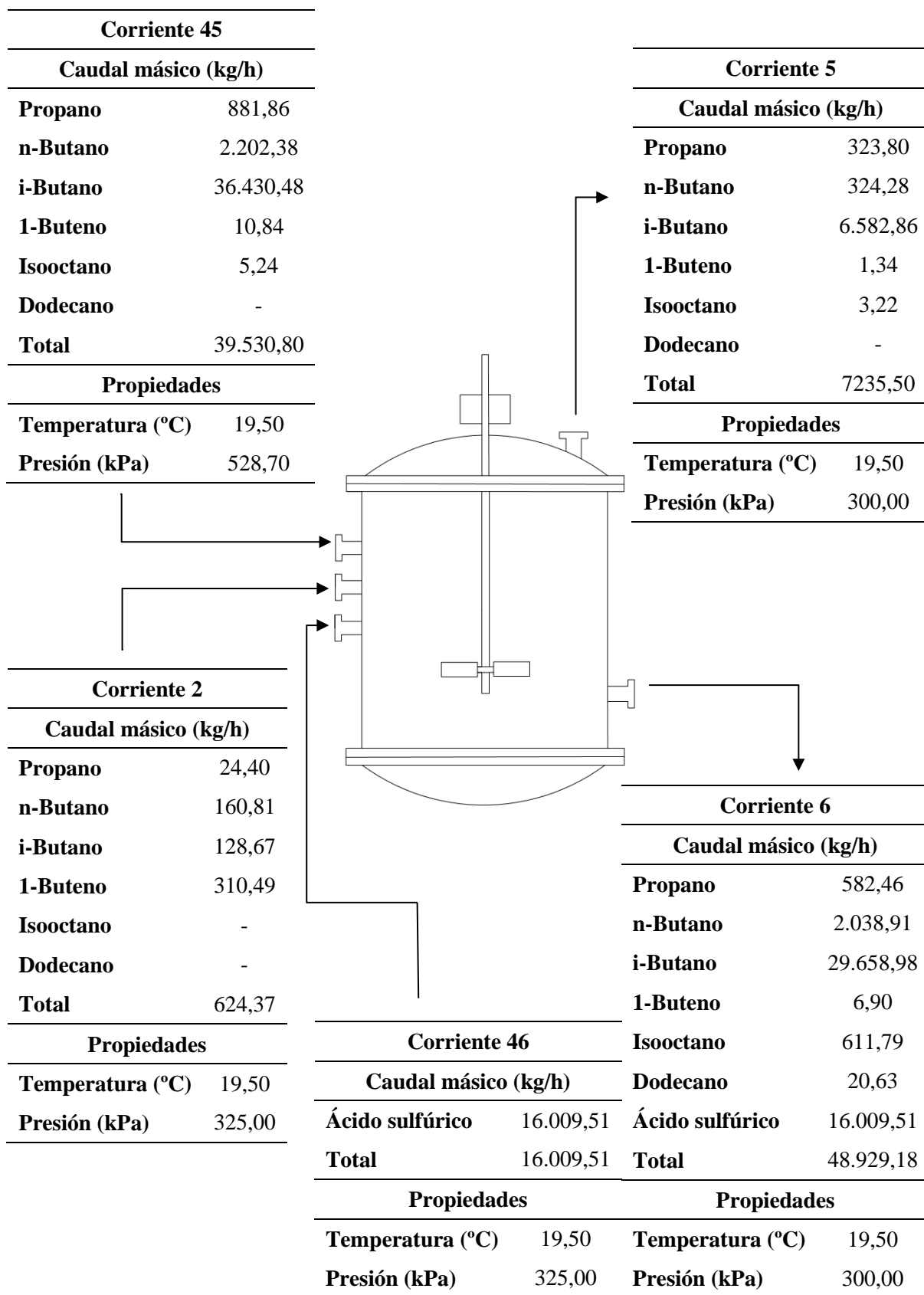
Corriente 43	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	41,70
n-Butano	494,64
i-Butano	549,60
1-Buteno	-
Isooctano	-
Dodecano	-
Total	1.085,94
Propiedades	
Temperatura (°C)	39,00
Presión (kPa)	600,00



Corriente 38	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	521,72
n-Butano	1.256,73
i-Butano	27.073,30
1-Buteno	3,15
Isooctano	-
Dodecano	-
Total	28.854,90
Propiedades	
Temperatura (°C)	39,00
Presión (kPa)	610,31

Corriente 27	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	318,44
n-Butano	451,01
i-Butano	8.807,58
1-Buteno	7,69
Isooctano	5,24
Dodecano	-
Total	9.589,96
Propiedades	
Temperatura (°C)	39,00
Presión (kPa)	600,00

## 2.3. REACTOR R-201-1

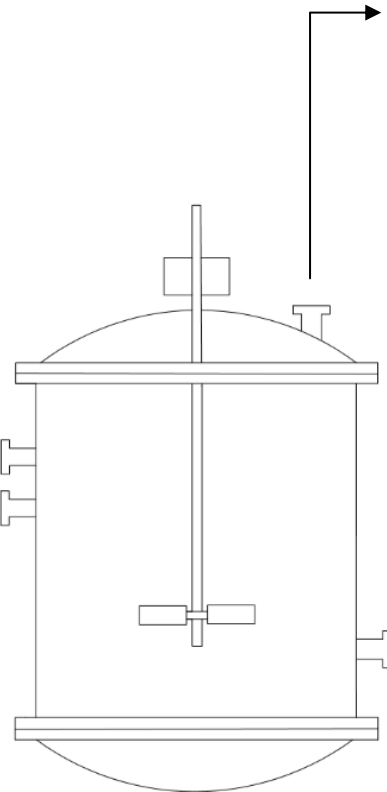


## 2.4. REACTOR R-201-2

Corriente 6	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	582,46
n-Butano	2.038,91
i-Butano	29.658,98
1-Buteno	6,90
Isooctano	611,79
Dodecano	20,63
Ácido sulfúrico	16.009,51
Total	48.929,18
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	300,00

Corriente 3	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	24,41
n-Butano	160,83
i-Butano	128,66
1-Buteno	310,48
Isooctano	-
Dodecano	-
Total	624,38
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	325,00



Corriente 7	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	55,28
n-Butano	61,43
i-Butano	1.135,51
1-Buteno	0,26
Isooctano	0,88
Dodecano	-
Total	1.253,36
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	285,00

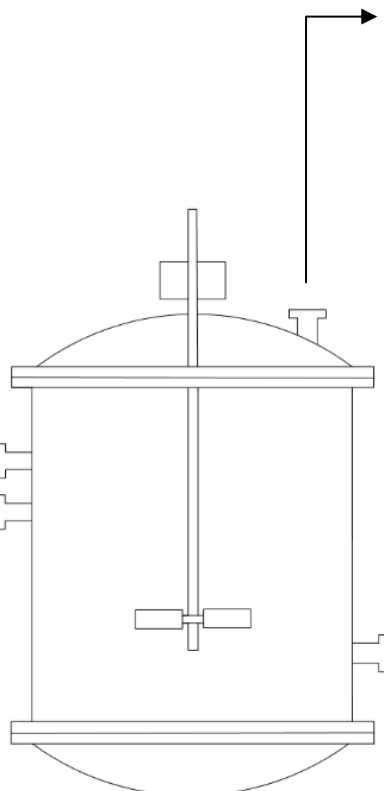
Corriente 8	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	551,59
n-Butano	2138,31
i-Butano	28.345,29
1-Buteno	7,46
Isooctano	1186,52
Dodecano	61,52
Ácido sulfúrico	16.009,51
Total	48.300,20
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	285,00



## 2.5. REACTOR R-201-3

Corriente 8	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	551,59
n-Butano	2138,31
i-Butano	28.345,29
1-Buteno	7,46
Isooctano	1186,52
Dodecano	61,52
Ácido sulfúrico	16.009,51
Total	48.300,20
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	285,00

Corriente 4	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	24,40
n-Butano	160,83
i-Butano	128,66
1-Buteno	310,49
Isooctano	-
Dodecano	-
Total	624,38
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	325,00



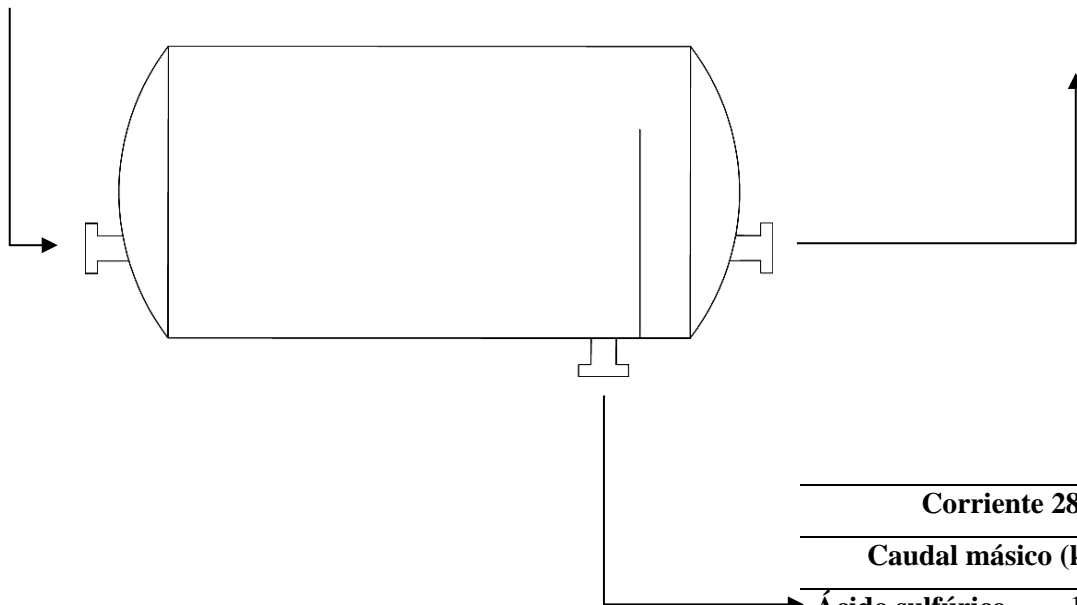
Corriente 9	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	54,27
n-Butano	65,30
i-Butano	1.103,84
1-Buteno	6,09
Isooctano	1,14
Dodecano	-
Total	1.230,64
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	270,00

Corriente 10	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	521,72
n-Butano	2.233,84
i-Butano	27.079,40
1-Buteno	4,33
Isooctano	1.701,88
Dodecano	143,26
Ácido sulfúrico	16.009,51
Total	47.693,94
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	270,00

## 2.6. SEPARADOR DE FASES TK-201

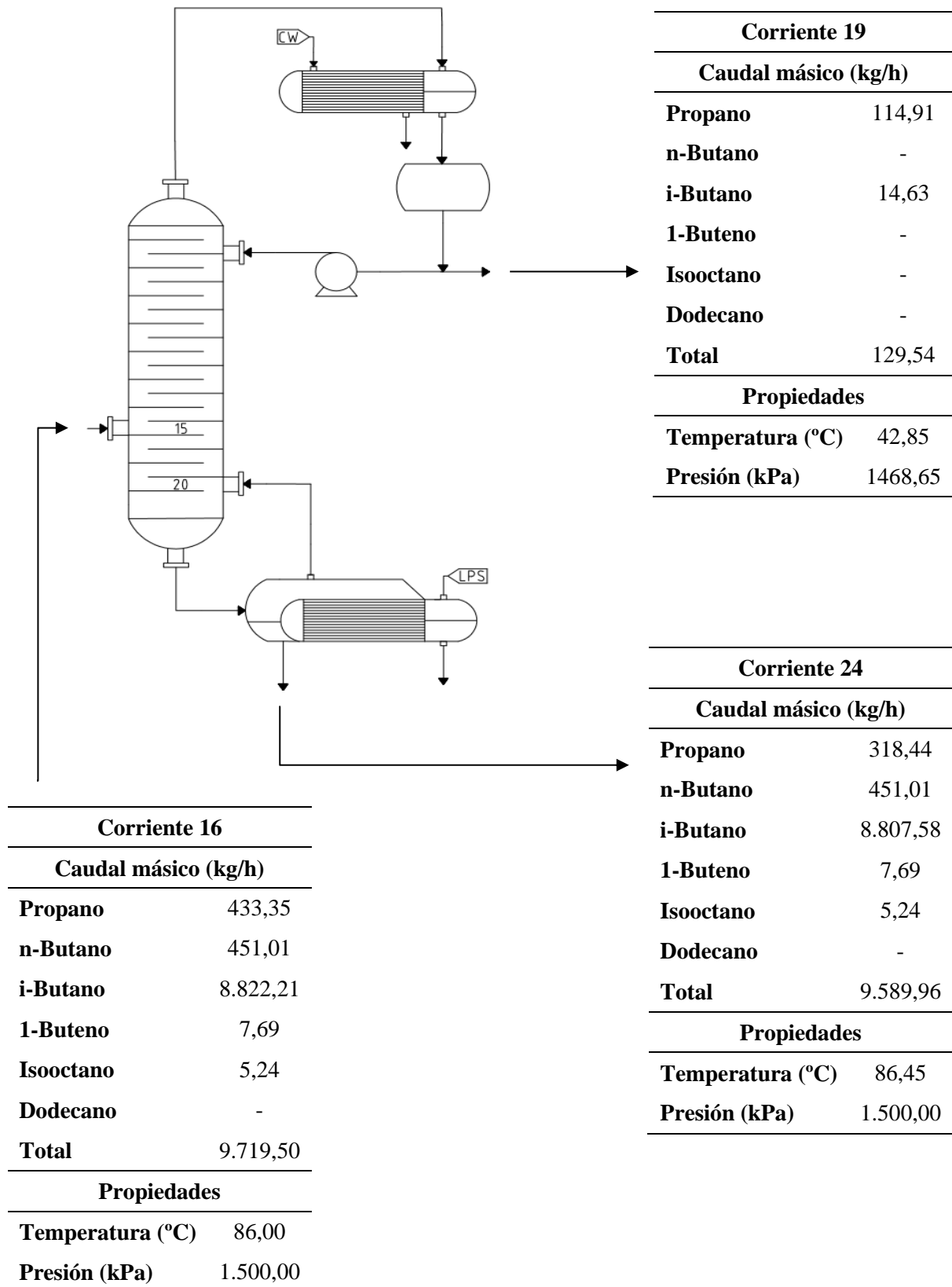
Corriente 10	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	521,72
n-Butano	2.233,84
i-Butano	27.079,40
1-Buteno	4,33
Isooctano	1.701,88
Dodecano	143,26
Ácido sulfúrico	16.009,51
Total	47.693,94
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	270,00

Corriente 29	
Caudal másico (kg/h)	
Propano	521,72
n-Butano	2.233,84
i-Butano	27.079,40
1-Buteno	4,33
Isooctano	1.701,88
Dodecano	143,26
Total	31.684,43
Propiedades	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	270,00

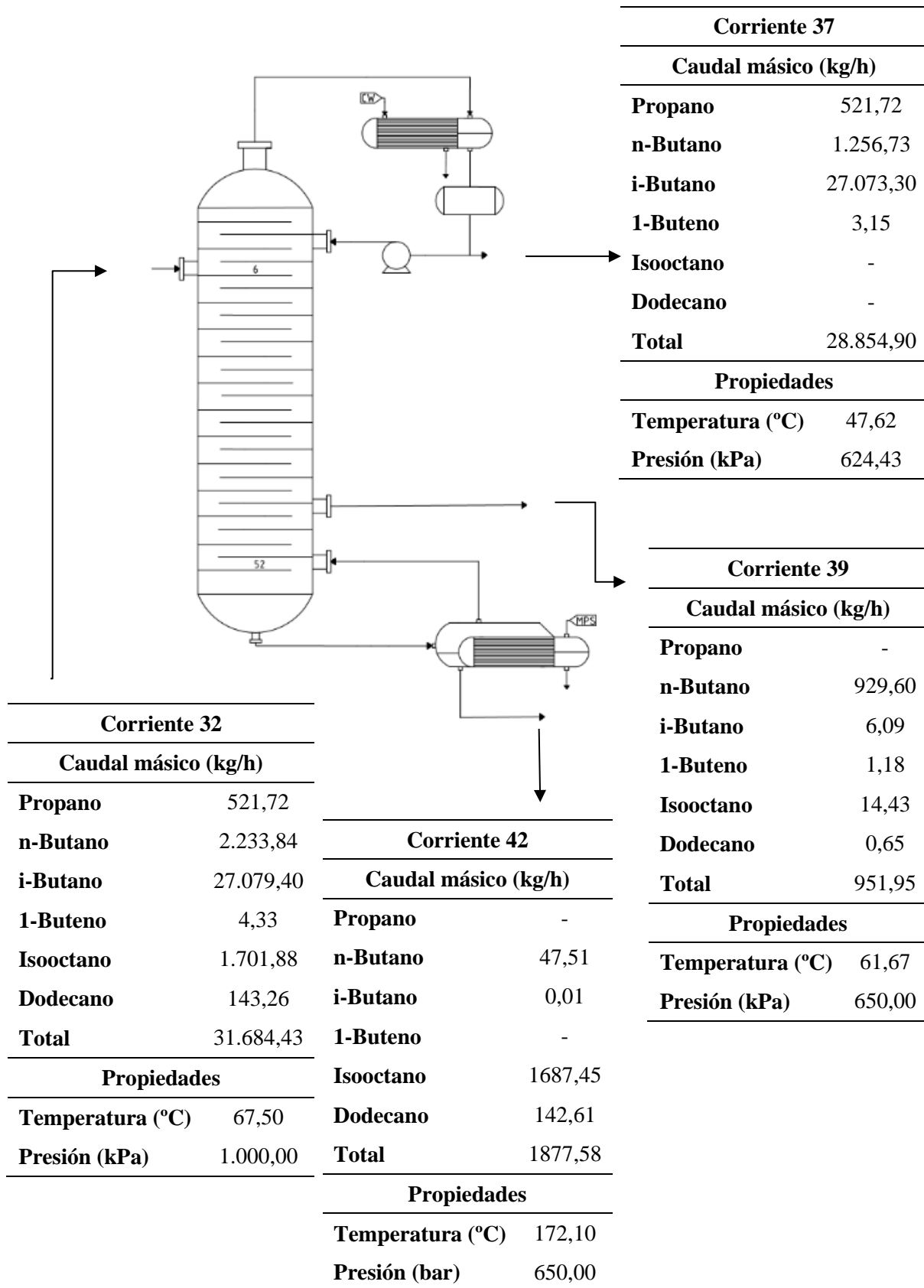


Corriente 28	
Caudal másico (kg/h)	
Ácido sulfúrico	16.009,51
Total	16.009,51
Propiedade	
Temperatura (°C)	19,50
Presión (kPa)	270,00

## 2.7. COLUMNA DE DESTILACIÓN T-301



## 2.8. COLUMNA DE DESTILACIÓN T-401



Se finaliza esta sección con el cierre de los balances de cada equipo, presentado en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Cierre de los balances de materia individuales

<b>Equipo</b>	<b>Entrada (kg/h)</b>	<b>Salida (kg/h)</b>
<b>Tanque TK-101</b>	1873,13	1873,13
<b>Tanque de mezcla TM-101</b>	39.530,80	39.530,80
<b>Reactor, primer compartimento R-201-1</b>	56.164,68	56.164,68
<b>Reactor, primer compartimento R-201-2</b>	49.553,56	49.553,56
<b>Reactor, primer compartimento R-201-3</b>	48.924,58	48.924,58
<b>Separador de fases TK-201</b>	47.693,94	47.693,94
<b>Columna de destilación T-301</b>	9.719,50	9.719,50
<b>Columna de destilación T-401</b>	31.684,43	31.684,43

### 3. BALANCE DE ENERGÍA

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

Para plantear el balance de energía de la planta de producción de isooctano es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones. En primer lugar, comentar que los términos de energía cinética y potencial son despreciables, es decir, los principales factores para estudiar el intercambio energético son el calor y el trabajo. Por tanto, la diferencia energética entre las corrientes de salida y de entrada del proceso se corresponde, prácticamente en su totalidad, por estos dos parámetros, representados en la ecuación (3.1).

$$F_s H_s - F_e H_e = Q + W \quad (3.1)$$

Donde F se corresponde con el caudal molar (kmol/s), H con la entalpía molar (kJ/kmol), S y E son las corrientes de salida y de entrada del proceso, respectivamente, Q el calor transferido al sistema (kW) y W el trabajo realizado sobre el sistema (kW).

En segundo lugar, se evalúan los diversos parámetros para el caso de la planta de producción de isooctano. Las corrientes de salida se corresponden con la de purga de propano, la de butano y la salida del producto deseado, el isooctano. En lo que respecta a las alimentaciones comentar la de butano y la de isobutano. El calor intercambio es aquel que se transfiere en los intercambiadores de calor para el enfriamiento y calentamiento de las corrientes de proceso, así como la pérdida de energía tanto en los equipos como en las conducciones. Finalmente, el trabajo es aquel llevado a cabo por las bombas y el compresor, así como la turbina, con signo inverso, al ser trabajo realizado por una corriente de proceso. Finalmente, comentar la energía liberada por la exotermicidad de la reacción de alquilación.

Se presentan a continuación cada uno de los términos.

#### 3.2. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Se presentan cuatro tipos de intercambiadores de calor en la planta de producción de isooctano en función de la aplicación. En primer lugar, los intercambiadores de calor EX-101 y EX-306 se utilizan para el enfriamiento de una corriente de proceso mediante la utilización de agua como refrigerante. Por tanto, la energía intercambiada en ellos presenta signo negativo al corresponderse con un calor liberado por parte del proceso, absorbido por una corriente externa.

Por su parte, se presentan los intercambiadores EX-302, EX-401, EX-303 y EX-402, cuya función es el calentamiento de corrientes de proceso. En las dos primeras se produce una integración energética por lo que no intervienen en el balance al ser energía absorbida por otra corriente de proceso y no con el entorno. En cambio, las dos últimos absorben energía procedente de vapor de agua de baja presión, por lo que contribuyen como equipos donde se incorpora energía al sistema.

Finalmente, comentar los intercambiadores donde se produce un cambio de fase, condensadores (EX-301, EX-304 y EX-403) y evaporadores (EX-305 y EX-404). Los valores correspondientes a la energía transferida en los intercambiadores de calor que influyen en el balance de energía se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Balance de energía de los intercambiadores de calor

<b>Equipo</b>	<b>Energía (kW)</b>
<b>Intercambiador de calor EX-101</b>	-527,62
<b>Intercambiador de calor EX-301</b>	-931,80
<b>Intercambiador de calor EX-303</b>	156,64
<b>Intercambiador de calor EX-304</b>	-273,39
<b>Intercambiador de calor EX-305</b>	258,50
<b>Intercambiador de calor EX-306</b>	-258,31
<b>Intercambiador de calor EX-402</b>	905,94
<b>Intercambiador de calor EX-403</b>	-18.941,67
<b>Intercambiador de calor EX-404</b>	18.647,22
<b>TOTAL</b>	-964.48

Simplemente comentar que los intercambiadores de calor EX-304/EX-305 y EX-403/EX404 son los que conforman los condensadores y reboilers de las columnas de destilación T-301 y T-401 respectivamente. Se comprueba que, de manera global, el proceso libera energía en forma de calor.

### 3.3. BOMBAS, COMPRESOR Y TURBINA

En lo referido al trabajo intercambiado cabe contemplar la presencia de equipos suministradores de energía para compensar las diferencias de presión entre equipos y las pérdidas por fricción. En primer lugar, la bomba P-201 se utiliza para la impulsión del ácido, mientras que las P-301 y P-401 se utilizan para la impulsión de las dos corrientes de salida del reactor para su destilación. Comentar también las presentes en las columnas (P-302 y P-402). Debido a la mayor relevancia de las encargadas de elevar la presión de las corrientes hasta los 10,5 y 15,5 bares, respectivamente, se abrevia el estudio a esas dos.

En segundo lugar, comentar la presencia de un compresor para la condensación previa a la destilación de la corriente de vapores del reactor. Finalmente, la existencia de una turbina para la integración energética, la cual posee signo negativo al ser trabajo ejercido por el sistema.

Se presenta la energía intercambiada en estos equipos en la Tabla 3.2, en la que se observa que el trabajo global posee signo positivo al ser ejercido sobre el sistema.

Tabla 3.2. Balance de energía de los intercambiadores de calor

Equipo	Energía (kW)
<b>Bomba P-301</b>	8,56
<b>Bomba P-401</b>	30,80
<b>Compresor C-301</b>	158,48
<b>Turbina TB-201</b>	-3,07
<b>TOTAL</b>	194,77

### 3.4. REACTOR

La reacción de alquilación para la producción de isooctano es exotérmica, al igual que la reacción secundaria de polimerización. Por tanto, es necesario valor esta energía transferida al sistema, ya que se autorefrigera. Por motivo de la presencia de compuestos inertes volátiles y la necesidad de una purga de parte de ellos, se aprovecha la energía de reacción para evaporar parcialmente la mezcla y conducir las dos salidas del reactor a dos columnas de destilación diferentes. El resultado de esta medida es el incremento de la energía de la salida del reactor con respecto a la entrada. De manera cuantitativa, se presentan los valores en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Balance de energía al reactor

Equipo	Energía (kW)
<b>Primer compartimento R-201-1</b>	142,79
<b>Segundo compartimento R-201-2</b>	143,20
<b>Tercer compartimento R-201-3</b>	146,53
<b>TOTAL</b>	432,52

Simplemente recordar las pérdidas por fricción producidas en las conducciones de la planta, las cuales se presentan en la sección de *Tuberías del Anexo II: Cálculos justificativos*, mismo anexo donde se presenta el cálculo detallado de cada uno de los valores expuestos en este apartado.



---

# ANEXO II: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

---

Planta de producción de isooctano

# ÍNDICE CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

1. REACTOR.....	8
1.1. Introducción.....	8
1.2. Análisis del reactor .....	8
1.2.1. Tipo de reactor.....	8
1.2.2. Corrientes del reactor.....	9
1.2.3. Catalizador.....	11
1.2.4. Reacciones químicas.....	12
1.2.5. Condiciones de operación.....	14
1.2.5.1 Temperatura.....	14
1.2.5.2 Presión .....	15
1.2.5.3 Velocidad volumétrica.....	15
1.2.5.4 Relación isobutano/buteno .....	16
1.2.6. Cinética de reacción.....	17
1.3. Procedimiento de diseño.....	18
1.3.1. Balance de materia al reactor.....	18
1.3.2. Balance de energía del reactor.....	22
1.3.3. Ecuación de diseño del reactor .....	24
1.3.4. Obtención del volumen del reactor.....	26
1.3.5. Dimensiones del reactor .....	30
1.3.6. Diseño de la estructura interna del reactor .....	31
1.3.6.1 Alimentación de reactivos .....	31
1.3.6.2 Agitador.....	31
1.3.6.3 Geometría del reactor .....	42
1.4. Diseño mecánico .....	43
1.4.1. Introducción.....	43
1.4.2. Tipo de recipiente .....	43

1.4.3.	Condiciones de operación.....	44
1.4.4.	Selección del material de construcción.....	44
1.4.5.	Selección de la carcasa y cálculo del espesor .....	45
1.4.5.1.	Presión de diseño .....	46
1.4.5.2.	Esfuerzo máximo permisible .....	46
1.4.5.3.	Eficiencia de la soldadura.....	47
1.4.6.	Espesor por corrosión .....	47
1.4.7.	Selección de los cabezales.....	49
1.4.7.1	Cabezal plano .....	49
1.4.7.2	Cabezal elíptico .....	50
1.4.7.3	Cabezal torisférico.....	50
1.4.7.4.	Cabezal hemisférico .....	50
1.4.8.	Peso del recipiente .....	52
1.4.9.	Soporte.....	52
1.4.10.	Cimientos.....	54
1.4.11.	Accesorios .....	54
1.5.	Diseño mecánico del reactor R-201.....	55
1.5.1.	Tipo de recipiente .....	55
1.5.2.	Condiciones de operación.....	56
1.5.3.	Selección del material de construcción.....	56
1.5.4.	Selección de la carcasa y cálculo del espesor .....	58
1.5.5.	Selección de los cabezales.....	59
1.5.6.	Peso del recipiente .....	61
1.5.7.	Aislante.....	61
2.	COLUMNAS DE DESTILACIÓN .....	64
2.1.	Introducción.....	64
2.2.	Características generales .....	64
2.3.	Tipos de columna de destilación .....	66

2.4.	Diseño de una columna de destilación de platos .....	67
2.4.1.	Columnas de destilación bicomponente .....	69
2.4.1.1	Balance de materia .....	69
2.4.1.2.	Determinación del número de platos .....	70
2.4.1.3	Cálculo del diámetro de la torre .....	71
2.4.1.4.	Caída de presión .....	73
2.5.	Columna de destilación T-301.....	77
2.5.1.	Caracterización de la columna.....	77
2.5.2.	Balances de materia .....	78
2.5.3.	Número de platos.....	79
2.5.4.	Cálculo del diámetro de la torre .....	80
2.6.	Columna de destilación T-401.....	83
2.6.1.	Caracterización de la columna.....	83
2.6.2.	Balances de materia .....	84
2.6.3.	Número de platos.....	85
2.6.4.	Cálculo del diámetro de la torre .....	85
3.	INTERCAMBIADOR DE CALOR .....	88
3.1.	Introducción.....	88
3.2.	Alternativas de funcionamiento.....	88
3.3.	Tipos de intercambiadores.....	89
3.3.1.	Estructura del intercambiador de carcasa y tubos.....	90
3.4.	Caracterización de corrientes.....	92
3.5.	diseño de un intercambiador de calor .....	92
3.5.1.	Cálculo de la energía transferida .....	93
3.5.2.	Cálculo del área de intercambio .....	93
3.5.2.1	Coeficiente global de transferencia de energía.....	94
3.5.2.2	Diferencia de temperatura media logarítmica.....	96
3.5.3.	Dimensionamiento del intercambiador.....	98

3.5.3.1 Tubos .....	98
3.5.3.2 Carcasa .....	101
3.5.4. Velocidad de circulación .....	103
3.5.5. Coeficientes individuales de transmisión de calor.....	104
3.5.6. Caída de presión .....	107
3.6. Selección del material.....	110
3.7. Intercambiador de calor EX-101 .....	111
3.7.1. Selección del intercambiador.....	111
3.7.2. Caracterización de corrientes.....	111
3.7.3. Cálculo de la energía transferida .....	112
3.7.4. Velocidades de flujo .....	115
Coeficientes de transmisión de calor individuales.....	115
3.7.5. Caídas de presión.....	116
3.8. Condensador EX-301 .....	117
3.9. Intercambiador de calor EX-302 .....	120
3.10. Intercambiador de calor EX-303.....	123
3.11. Intercambiador de calor EX-306.....	125
3.12. Intercambiador de calor EX-401.....	127
3.13. Intercambiador de calor EX-402.....	130
4. TANQUES DE MEZCLA .....	133
4.1. Introducción.....	133
4.2. Diseño de un tanque de mezcla .....	134
4.2.1. Cálculo del volumen.....	134
4.2.2. Cálculo del diámetro.....	135
4.2.3. Diseño mecánico.....	135
4.3. Tanque de mezcla TM-101.....	135
4.3.1. Características.....	135
4.3.2. Cálculo de las dimensiones.....	136

4.3.3. Diseño mecánico.....	136
5. TANQUE PULMÓN .....	139
5.1. Introducción.....	139
5.2. Diseño de un tanque pulmón .....	139
5.3. Tanque pulmón TK-102 .....	139
6. TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	141
6.1. Introducción.....	141
6.2. Tanque de almacenamiento TK-101.....	141
6.3. Tanque de almacenamiento TK-202.....	142
7. TUBERÍAS.....	143
7.1. Introducción.....	143
7.2. Diseño de tuberías .....	143
7.2.1. Selección del diámetro.....	143
7.2.2. Espesor de la tubería.....	144
7.2.3. Caída de presión .....	145
7.3. Diseño de las tuberías de la planta.....	149
8. BOMBAS.....	153
8.1. Introducción.....	153
8.2. Diseño de una bomba .....	153
8.3. Selección de las bombas .....	153
8.3.1. Carga del sistema.....	155
8.3.2. CNPA .....	156
8.3.3. Potencia requerida por la bomba .....	156
8.4. Bomba P-301 .....	157
8.5. Bomba P-401 .....	159
8.1. Bomba P-201 .....	160
9. COMPRESOR .....	162
9.1. Introducción.....	162

9.2. Tipos de compresor .....	162
9.3. Diseño de un compresor .....	163
9.4. Compresor C-301 .....	164
10. TURBINA.....	166
10.1. Introducción.....	166
10.2. Procedimiento de diseño.....	166
10.3. Turbina T-301 .....	166
11. BIBLIOGRAFÍA .....	167

# 1. REACTOR

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Un reactor químico se define como un equipo utilizado en las plantas industriales con el objetivo de llevar a cabo reacciones químicas en su interior. Debido a la gran relevancia que adquiere en un proceso, pues determina, en gran medida, el funcionamiento de la planta, se elige como el objeto de diseño principal de este proyecto.

Por tanto, la finalidad de esta sección es, mediante la ingeniería de reactores químicos, llevar a cabo su dimensionamiento y diseño mecánico. Se busca así la caracterización del reactor R-201 que produce isooctano (y dodecano) a partir de las corrientes de buteno e isobutano procedentes de la refinería mediante un proceso seguro y medioambientalmente respetuoso. Esto conlleva un estudio de las condiciones de operación, la cinética de la reacción y la transferencia de materia, energía y cantidad de movimiento que se produce en el equipo.

## 1.2. ANÁLISIS DEL REACTOR

A continuación se lleva a cabo un análisis del reactor, en lo referido a la selección de la alternativa óptima para llevar a cabo la reacción de alquilación, y de las alimentaciones provenientes de la refinería, así como el catalizador utilizado. Tras ello, se estudian las reacciones secundarias que tienen lugar y las condiciones de operación que favorecen a la reacción deseada y, finalmente, la cinética de la misma.

### 1.2.1. TIPO DE REACTOR

Entre las alternativas tecnológicas existentes, se decide utilizar un reactor de tanque agitado, como se explicó en la sección de *Alternativas para la producción de isooctano* del *Documento I: Memoria*, por la serie de ventajas que ofrece con respecto a otro tipo de reactores.

En primer lugar, comentar la severa agitación que precisa la reacción, obtenida más fácilmente en un reactor de mezcla completa. Además, el requerimiento de una concentración elevada de uno de los reactivos para reducir la formación del subproducto se consigue eficazmente en este tipo de reactor. Este motivo provoca también que, con el objetivo de aumentar el ratio entre reactivos, no se utilice tan sólo un reactor, sino varios en serie, dentro de un mismo recipiente, fraccionando la alimentación del buteno.



Otro motivo clave reside en la energía liberada durante el transcurso de la reacción, la cual es absorbida por parte de los compuestos produciéndose una evaporación parcial de los más volátiles. La eliminación de las corrientes gaseosas se facilita con este tipo de reactor ya que se retiran por boquillas en las diferentes cámaras del equipo de manera que al final se obtienen dos corrientes.

Por un lado, una líquida formada, principalmente, por el producto deseado, el subproducto, butano (inerte) y una fracción del reactivo en exceso, el isobutano. Por otro, una corriente gaseosa compuesta por inertes (propano y butano) y la otra fracción del isobutano en exceso. Por tanto, la energía liberada durante la reacción es absorbida, prácticamente en su totalidad, por los inertes y la isoparafina.

Concluyendo, el reactor utilizado se denomina reactor Kellogg para alquilación y se fundamenta en un recipiente con láminas en su interior para establecer diferentes compartimentos. Así, su estructura se resume en un conjunto de reactores de tanque agitado en serie donde el reactivo en exceso y el ácido avanzan de uno a otro mientras que el reactivo limitante se fracciona y alimenta equimolarmente. Se ilustra dicho reactor en la Figura 1.1.

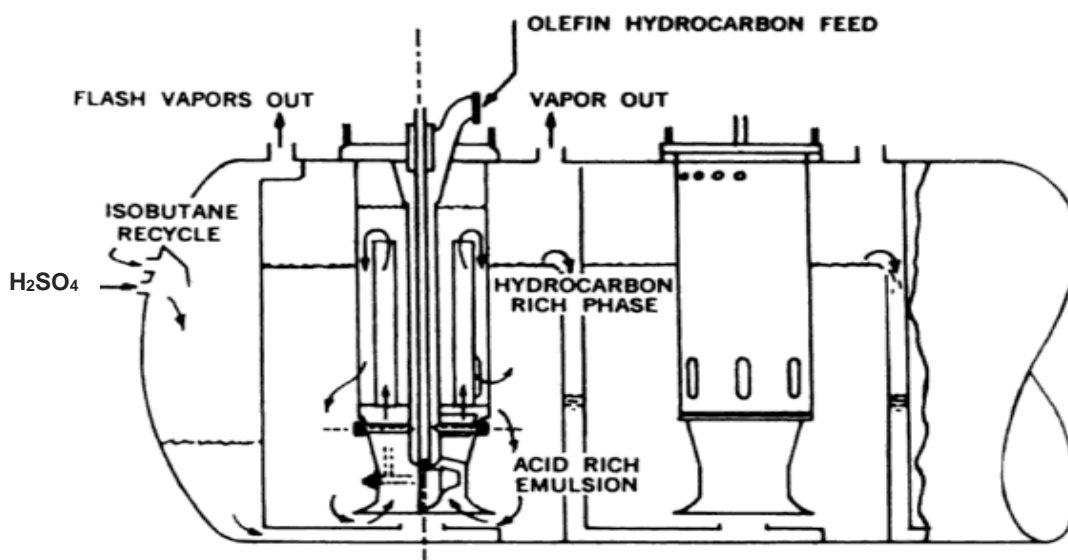


Figura 1.1. Reactor Kellogg para la producción de isooctano. Fuente: (McKetta, 1977)

### 1.2.2. CORRIENTES DEL REACTOR

Por motivo de la autorefrigeración que tiene lugar en el reactor, las corrientes que se procede a explicar son la alimentación de los reactivos y la salida de los productos resultantes ya que no se precisa de un fluido refrigerante para mantener la temperatura constante.

Se comienza el estudio por la corriente de alimentación de olefina, la cual presenta una composición explicada en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Composición de la alimentación de buteno

Compuesto	Concentración molar (%)
<b>Propano</b>	5
<b>n-Butano</b>	25
<b>Isobutano</b>	20
<b>Buteno</b>	50

Esta corriente procede de la fracción C<sub>4</sub> del petróleo constituida principalmente por butano-butileno. Se produce en las refinerías por fraccionamiento de gases generados en el craqueo catalítico y térmico y en la coquización, así como la fracción existente directamente en el crudo, sometidas a condiciones de deshidrogenación (Luyben, 2009).

En ella, se presentan tanto hidrocarburos saturados como insaturados y la relación para este proceso debe ser en torno a 1, siguiendo la estequiometría, en lo referido a isoparafina/olefina puesto que una pequeña parte de la isoparafina se purga con los inertes mientras que el 5% de la olefina sirve como reactivo para la producción de dodecano. Con el término olefina se engloba tanto al 1-buteno como al 2-buteno y al isobuteno, todos partícipes en la reacción de alquilación siendo el isobuteno el desencadenante y el 1-buteno el presente en mayor proporción (de ahí que el mecanismo de reacción se simplifique a 1-buteno).

Por motivo de la relación inferior en la corriente de entrada comentada, se necesita una segunda alimentación, con elevada proporción, en esta ocasión, de isobutano, con el objetivo de conseguir, aproximadamente, el mismo caudal molar de ambas corrientes. Esta segunda corriente se produce en una unidad de saturación y su composición se presenta en la Tabla 1.2 (Luyben, 2009).

Tabla 1.2. Composición de la alimentación de isobutano

Compuesto	Concentración molar
<b>Propano</b>	5
<b>n-Butano</b>	45
<b>Isobutano</b>	50
<b>Buteno</b>	-

Destacar la presencia inevitable de inertes en ambas corrientes resaltando el propano y el butano de cadena lineal. También se podría incluir el pentano pero, debido a su notablemente menor composición, se ignora su presencia en los cálculos.

Estos inertes tienen una consecuencia negativa en el proceso de alquilación puesto que ocupan un volumen en el reactor, disminuyen la fracción de isobutano obligando a la alimentación de un caudal mayor y dificultan, en cierta medida, el contacto de los reactivos con el ácido, requiriendo una mayor agitación y consumo del catalizador.

En cambio, estos dos compuestos, junto con el isobutano, actúan de refrigerantes del reactor absorbiendo la energía liberada en la formación de isooctano. Por ello, no se precisa de un sistema externo para mantener los compuestos isoterms durante el transcurso de la reacción.

En el proceso, las corrientes de reactivos entran al equipo a la temperatura de reacción aproximada (19,5°C) y presión de 3,25 bares. La olefina se introduce directamente procedente de la refinería, tras su paso por el depósito pulmón TK-101 a 3,25 bares (suficiente para contrarrestar las pérdidas por fricción) y temperatura de 19,5°C (293,15K). En cambio, la corriente de isobutano fresca (a 6 bares y 19,5°C) se mezcla con la recirculación y se controla, rigurosamente, su temperatura por poseer un caudal sensiblemente superior. Es decir, ligeras modificaciones en esta corriente tienen un efecto mucho mayor que en la de alimentación de buteno en lo que respecta a la temperatura de reacción y a la fracción total de vapor extraída en el cabezal del reactor. Además, la corriente de buteno se fracciona y se alimenta por separado al reactor para mantener la concentración de la olefina baja respecto al otro reactivo, acción que otorga todavía más importancia a la temperatura de la otra corriente.

Para finalizar este apartado, se trata la corriente de salida del reactor que, por motivo de la autorefrigeración, se separa en dos según su estado. Por un lado, se obtiene una corriente gaseosa formada por los compuestos más volátiles, es decir, propano, butano e isobutano. Contiene también trazas del buteno no reaccionado. Por otro lado, la corriente líquida presenta los componentes más pesados, siendo estos el isooctano y el dodecano, junto con la fracción no evaporada de los componentes más volátiles. La composición de la corriente de salida global se obtiene con el balance de materia mientras que la composición de cada una de las fases se obtiene con el balance de energía, explicados en las secciones de *Balance de materia al reactor* y *Balance de energía del reactor*, respectivamente.

### 1.2.3. CATALIZADOR

La reacción de alquilación entre olefina e isoparafina se lleva a cabo con la presencia de un catalizador, como se indicó en la sección de *Alternativas para la producción de isooctano* del *Documento I: Memoria*, y es necesario la selección del óptimo para reducir costes.

Un catalizador se define como un compuesto que modifica la velocidad de reacción sin participar en ella. Para la decisión del tipo de catalizador en esta reacción, se recuerda que los catalizadores sólidos se rechazan por su peor manejo respecto a los líquidos y por su mayor velocidad de desactivación. Descartados éstos, entre los líquidos se establece que el óptimo es el ácido sulfúrico por el mejor control de las reacciones secundarias, la mayor facilidad en la recuperación del ácido y por seguridad. Sus propiedades se detallan en la sección de *Catalizador*, entre ellas, comentar la insolubilidad que presenta frente a los hidrocarburos, lo que conlleva la necesidad de una correcta agitación para favorecer la emulsión y permitir obtener una conversión elevada.

En el apartado de *Obtención del volumen de reactor* se establece un volumen requerido del mismo de 8,50 m<sup>3</sup> repartidos equimolarmente entre los tres compartimentos y un caudal de entrada al reactor de 8,65 m<sup>3</sup>/h con una concentración mínima del 93% en peso. Además, el sistema de separación del catalizador y los hidrocarburos es un decantador existente dentro del reactor, situado en la parte final. De esta manera, se obtiene, por la parte inferior, el ácido sulfúrico mientras que, por la parte superior, al ser menos densos, los hidrocarburos.

En lo referido a su regeneración, se presenta un medidor de concentración como sistema de control. Ante la medida proporcionada por este indicador a la salida del decantador se recircula el ácido en caso de ser superior o igual al punto de consigna de 93% en peso de concentración o se envía a la planta de regeneración y se introduce ácido fresco regenerado almacenado en el tanque TK-201, en caso contrario.

#### 1.2.4. REACCIONES QUÍMICAS

Se presenta, inicialmente, la reacción de producción de isooctano numerada como (1).



Comentar de ella su exotermicidad, motivo por el cual, es necesario retirar la energía liberada durante el transcurso de la reacción. Por esto y la necesidad de una purga de inertes para evitar su acumulación, se decide utilizar los propios compuestos como refrigerantes por lo que la mezcla se introduce a la temperatura de ebullición y se evapora parcialmente con el transcurso de la reacción. La fracción gaseosa se conduce posteriormente a una columna de destilación para purgar propano y recuperar el reactivo en exceso mientras que con la líquida se hace lo propio pero purgando butano y obteniendo también el producto deseado.

En lo relativo a la conversión, decir que es elevada por motivo de la elevada relación isoparafina/olefina, la correcta agitación y las condiciones de temperatura y presión lo que conlleva a que el reactivo limitante reaccione prácticamente en su totalidad. Por estos motivos, se considera una conversión del 98,5%, próximo a la totalidad y que precisa un volumen de reactor para alcanzarla coherente (Luyben, 2009).

Sin embargo, se deben estudiar también las reacciones secundarias del proceso, ya que durante la alquilación tienen lugar otras reacciones no deseadas entre los compuestos que reducen la selectividad de la principal. Se presentan a continuación numeradas del (2) al (7).



Las dos primeras se producen por el contacto entre el reactivo limitante y los productos, siendo este último el producto deseado en el primer caso y el subproducto generado en dicha reacción en el segundo. Junto con éstas, completan las reacciones de polimerización las dos siguientes, donde el buteno, tanto lineal como el isobuteno, reacciona consigo mismo para dar lugar a isoocteno y diisobuteno, así como hidrocarburos de mayor peso molecular. Además, se puede comentar simplemente la existencia de más reacciones de polimerización con propano, pentanos o entre los propios productos de las reacciones anteriores. En quinto lugar, se encuentra una reacción secundaria entre los dos reactivos del proceso que, en menor proporción, producen dimetil-hexano en lugar de trimetilpentano. Finalmente, se completa el estudio del sistema reactivo con la hidrólisis del buteno para el producir alcohol según la reacción numerada como (7) (Fieser, y otros, 1985) (Feller, y otros, 2004)

Entre todas ellas merece especial mención la primera reacción secundaria en la que se consume el reactivo limitante y el producto deseado para dar lugar a un subproducto sin valor en el mercado. Presenta mayor selectividad que las demás, especialmente a medida que avanza la reacción y la concentración del isooctano aumenta llegando al punto de consumir casi por completo este producto si no se seleccionan y controlan rigurosamente las condiciones de operación. La formación de hexadecano presenta una selectividad notablemente menor ya que debe entrar en contacto una molécula de isooctano con una de buteno en dos ocasiones. Por su parte, la autoalquilación y la hidrólisis del buteno tampoco son apreciables al encontrarse a baja concentración tanto la olefina, en el primer caso, como la olefina y el agua en el segundo. Finalmente, en lo que respecta a la producción de isooctanos ramificados diferentes a pentanos tales como dimetilhexanos o metilheptanos, se regula su producción con el control de la temperatura y el tiempo de contacto. (Fieser, y otros, 1985) (Feller, y otros, 2004)

A modo de conclusión, se resume el sistema reactivo en dos reacciones, la principal de formación de isooctano (2,2,4-trimetilpentano) y la secundaria de producción de dodecano. La selectividad de ambas es función de una serie de parámetros que se presentan acto seguido y para los valores fijados se corresponde con un 95% del buteno introducido destinado a la reacción principal.

### 1.2.5. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Los parámetros más relevantes en el proceso de alquilación de isoparafinas para la producción de isooctano son la temperatura, la presión, la velocidad volumétrica y la relación isobutano/buteno.

A continuación se procede al estudio detallado de cada uno de ellos.

#### 1.2.5.1 TEMPERATURA

Factor relevante por su influencia sobre el consumo del catalizador, el rendimiento del proceso y la calidad del alquilato. Además, la alternativa con ácido sulfúrico es más sensible a la temperatura que con ácido fluorhídrico, motivo que dota de mayor relevancia todavía al control de este parámetro. (McKetta, 1977).

Por un lado, a medida que la temperatura aumenta, se facilita el mezclado de los hidrocarburos con el ácido pero disminuye la selectividad de la reacción deseada debido al favorecimiento de la polimerización (formación de dodecano). En cambio, con el descenso de la temperatura se logra reducir la formación de subproductos pero se incrementa la viscosidad de los hidrocarburos y la movilidad del ácido, con el consecuente incremento del consumo eléctrico para mantener el contacto suficiente con el objetivo de conseguir la conversión elevada (A. E. Koklin, 2010) (Feller, y otros, 2004).

Con esto, se concluye con que el rango óptimo de temperaturas se encuentra entre 5°C y 25°C aproximadamente, valor que se establece en 19,5°C para reducir el consumo eléctrico por agitación manteniendo en un elevado valor la selectividad de la reacción principal. La selección de este valor se debe a la destacable exotermicidad de la reacción, contrarrestada por los compuestos más volátiles que actúan de autorefrigerantes absorbiendo la energía de reacción evaporándose. Por ello, se presenta un margen suficiente hasta el extremo de 25°C, a partir del cual la selectividad presenta un problema destacado. Esta medida de seguridad se lleva a cabo por posibles fluctuaciones en la concentración de la corriente C<sub>4</sub>, principalmente de los compuestos más volátiles cuya reducción ocasiona un aumento en la temperatura de ebullición.

Por otro lado, comentar que la temperatura de reacción no aumenta en los compartimentos sucesivos tras las evaporaciones anteriores de fracciones de los componentes más volátiles por la ligera disminución de la presión. Así, se valoran las pérdidas por fricción, se obtienen tres corrientes de vapor a la misma temperatura y se considera isoterma el reactor con un parámetro cinético constante. Pese a esto último, la selectividad de la reacción secundaria difiere en los diversos compartimentos por la variación de la concentración del producto, siendo mayor en el último de ellos.

### 1.2.5.2 PRESIÓN

El efecto de este parámetro es sensiblemente menor que el anterior puesto que un excesivo aumento de presión no conlleva un cambio destacado en la producción y calidad del alquilato. Con ello, se afirma que la función que desempeña la presión es el mantenimiento de los hidrocarburos en estado líquido saturado y a una temperatura de ebullición constante en los tres compartimentos e igual a la deseada para la reacción. Si se produce la reacción a una presión demasiado elevada se alcanza una temperatura en el reactor que favorece la producción de dodecano disminuyendo el caudal de isooctano a la salida del reactor. En cambio, si se desarrolla a una presión menor, se produce una evaporación de un caudal excesivo de compuestos, especialmente isobutano, reduciendo la relación elevada entre reactivos con la misma consecuencia que para una presión elevada, el aumento de la selectividad de la reacción secundaria. Se obtiene el menor coste de operación en columnas, compresor y acondicionamiento de la recirculación con una relación entre los caudales de salida del reactor líquido/vapor de 3. Dicho de otra manera, la desisobutanizadora debe tratar el triple de caudal que la desisopropanizadora (McKetta, 1977) (Feller, y otros, 2004).

Con esto, se lleva a cabo la reacción a 3 bares en el primer compartimento, reduciéndose en 15 y 30 kPa en los siguientes, respectivamente. Con ello, se consigue mantener la temperatura prácticamente constante al aumentar el punto de ebullición compartimento tras compartimento al evaporarse una fracción de los componentes más volátiles pero reduciendo su presión.

### 1.2.5.3 VELOCIDAD VOLUMÉTRICA

La velocidad volumétrica se define como la relación entre el volumen de reactivo limitante suministrado por unidad de tiempo y el volumen de catalizador en el reactor y determina el tiempo de contacto entre ambos. Cuando este parámetro adquiere un valor excesivo, se reduce el índice de octano del alquilato, puesto que la conversión de la reacción principal se reduce notablemente. La desventaja que presenta un valor menor de velocidad volumétrica reside en el coste del catalizador, en especial de su regeneración. Un valor apropiado es aquel comprendido entre 0,1 y 0,6 h<sup>-1</sup> (Kaiser, y otros, 2007) (Feller, y otros, 2004)

Es necesario indicar que no sólo se precisa suministrar el ácido al equipo y alimentar la materia prima, sino que influye también la geometría del reactor, que condiciona la existencia de zonas muertas y bypasses internos, y, sobre todo, la eficacia del sistema de agitación. Este último factor presenta una clara relevancia en el tiempo de contacto por motivo del aumento de la superficie de separación de las fases que genera. La isoparafina es el reactivo limitante en este aspecto por motivo de su mayor lentitud de absorción en el ácido sulfúrico con respecto a la olefina, por lo que una correcta agitación permite reducir este problema y favorecer a la formación de isooctano. En cambio, una deficiencia de la misma conlleva un aumento de la selectividad de la polimerización de alquenos o, incluso, a que parte de la materia prima no entre en contacto con el ácido y no reaccione, disminuyendo así la conversión.

Como conclusión, se decide proporcionar una velocidad volumétrica de  $0,3 \text{ h}^{-1}$ , valor óptimo que se utiliza en las plantas industriales modernas, parámetro con el que se determina el volumen de ácido en el reactor (Kaiser, y otros, 2007).

#### 1.2.5.4 RELACIÓN ISOBUTANO/BUTENO

Destacar la relevancia de este parámetro al estar ligado directamente con la selectividad de la reacción principal, ya que la reacción secundaria se lleva a cabo con el alqueno y el producto de la misma. Por ello, la relación que se busca entre los reactivos que producen isooctano es elevada en favor a la isoparafina. Con esto se consigue reducir notablemente la polimerización del buteno. Por tanto, en este proceso, se estima una relación molar en torno a 50-100:1 que, por motivos de la geometría propia del reactor, asciende hasta 200/1000:1. Esta relación elevada, junto con una adecuada relación catalizador/buteno permite alcanzar una selectividad destacada de la reacción principal. (Kaiser, y otros, 2007) (Feller, y otros, 2004).

El balance económico se lleva a cabo sabiendo que, a mayor volumen de ácido, mayor índice de octano al mejorar las condiciones de alquilación pero aumenta también el coste de dicho catalizador y su regeneración. Finalmente, comentar que si se atiende sólo a los recursos energéticos, es más económico aumentar la relación catalizador/alqueno que isobutano/alqueno por la energía de recirculación, bombeo y separación de esta última que supera a la regeneración del ácido (siempre que los costes de transporte de este último no sean excesivos).

Concluyendo, por esta última razón, la relación molar óptima isobutano/buteno externa se estipula en torno a 85 y la velocidad volumétrica en  $0,3 \text{ h}^{-1}$ . Comentar que la relación molar entre reactivos es mayor en el primer compartimento del reactor que en el último, ya que la isoparafina se consume a medida que avanza en el reactor y parte se evapora mientras que la olefina se alimenta fraccionada equimolarmente en los compartimentos. Concretamente, este parámetro desciende, en esta planta, de 103 a 89 para, finalmente, en el tercer compartimento, acabar siendo de 85.

Se presentan en la Tabla 1.3 las condiciones de operación y los parámetros influyentes.

Tabla 1.3: Parámetros y condiciones de reacción

Parámetro	Valor
Conversión	0,985
Selectividad	0,95
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	19,50
Presión (bar)	3,0/2,85/2,7
Velocidad volumétrica ( $\text{h}^{-1}$ )	0,30
Relación molar	80,0



### 1.2.6. CINÉTICA DE REACCIÓN

Con el objetivo de determinar el volumen de reactor necesario se precisa conocer los parámetros cinéticos de la reacción de alquilación, así como los de la polimerización. Posteriormente, se sobredimensiona el volumen del recipiente por motivos de seguridad y por la necesidad de espacio para el caudal evaporado, así como para contrarrestar el volumen que ocupa el agitador y las láminas que separan los compartimentos. Se presenta la ecuación cinética de la reacción de alquilación de buteno con isobutano para producir isooctano numerada como (1.8) (Mahajanam, y otros, 2001)

$$-r_1 = k_1 [C_4H_8] [C_4H_{10}] \quad (1.8)$$

Donde  $r_1$  es la velocidad de reacción,  $k_1$  se corresponde con el coeficiente cinético y  $[C_4H_8]$  y  $[C_4H_{10}]$  son las concentraciones de buteno e isobutano, respectivamente.

Así, se establece que el orden de reacción es 2 y el parámetro cinético, determinado experimentalmente para unas condiciones semejantes a las de este proceso es el presentado en la ecuación (1.9) (Mahajanam, y otros, 2001).

$$k_1 = 1,66 \cdot 10^9 \exp\left(\frac{-15.356}{R T}\right) \quad (1.9)$$

Donde  $k_1$  es el parámetro cinético ( $m^3/kmol.s$ ),  $R$  es la constante universal de los gases ideales ( $cal/mol.K$ ) y  $T$  la temperatura de la reacción en  $K$ .

Considerando constante esta temperatura, al introducirse al reactor a  $19,5^\circ C$  y establecer, mediante la presión, en este valor el punto de ebullición de la mezcla en los tres compartimentos, el coeficiente cinético también permanece constante.

Por su parte, en lo referido a la reacción secundaria, la ecuación cinética responde de la manera presentada en la ecuación (1.10) (Mahajanam, y otros, 2001).

$$-r_2 = k_2 [C_4H_8] [C_8H_{18}] \quad (1.10)$$

Mientras que el parámetro cinético, determinado por la misma fuente que en el caso de la reacción principal y con las mismas unidades, presenta los valores descritos en la ecuación (1.11)

$$k_2 = 4,16 \cdot 10^{12} \exp\left(\frac{-19444 \frac{cal}{kmol}}{R T}\right) \quad (1.11)$$

Una simple comparativa permite apreciar una diferencia considerable en la constante cinética del orden de  $10^3$ , motivo que constata la necesidad de trabajar a temperaturas bajas para no favorecer a la polimerización. Además, se percibe el requerimiento destacado de un control de las concentraciones manteniendo baja la del reactivo participante en la reacción secundaria.

### 1.3. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

Tras el conocimiento del tipo de reactor y el sistema reactivo del proceso, se lleva a cabo el dimensionamiento del equipo junto con el estudio de la estructura interna.

#### 1.3.1. BALANCE DE MATERIA AL REACTOR

Se reescriben las reacciones (1) y (2) para proceder a la realización del balance de materia.



Teniendo en cuenta que la reacción principal (1) presenta una relación 1:1 molar entre buteno e isobutano, el caudal molar alimentado de reactivos es el mismo que el de isooctano a producir pero esto no se cumple debido a la selectividad. Por otro lado, también se debe tener en cuenta que en las purgas de inertes se pierde una pequeña fracción de isobutano y que este último debe estar en exceso para evitar la polimerización del reactivo limitante. Por tal motivo, se introduce al reactor la alimentación de la olefina, la corriente de isoparafina en exceso resultante de la mezcla de la alimentación y las recirculaciones y los inertes que contienen ambas corrientes, necesarios para la autorrefrigeración. Se presenta en la Tabla 1.4 el balance de materia del reactor.

Tabla 1.4. Balance de materia global del reactor expresado en caudal máscicos y molares

Compuesto	Buteno (kmol/h)	Buteno (kg/h)	Isobutano (kmol /h)	Isobutano (kg /h)	Salida (kmol/h)	Salida (kg/h)
<b>Propano</b>	1,66	73,21	20,00	881,86	21,66	955,07
<b>n-Butano</b>	8,30	482,47	37,89	2.202,38	46,19	2.684,85
<b>Isobutano</b>	6,64	385,98	626,77	36.430,48	617,63	35.901,61
<b>Buteno</b>	16,60	931,47	0,19	10,84	0,21	12,02
<b>Isooctano</b>	-	-	0,05	5,24	14,94	1.707,12
<b>Dodecano</b>	-	-	-	-	0,84	143,26
<b>Total</b>	33,20	1.873,13	684,90	39.530,80	701,47	41.403,93

Las columnas nombradas como buteno e isobutano representan, respectivamente, las alimentaciones de ambas corrientes al reactor donde predominan dichos compuestos, procediendo la primera de la refinería y la segunda de la mezcla de la corriente de la refinería con la recirculación de ambas columnas de destilación.

Por su parte, la columna salida engloba las corrientes obtenidas en fase vapor de los tres compartimentos así como la corriente líquida resultante de la última sección del reactor. Estos resultados presentan el balance de materia más simple y global del reactor.

En cambio, un análisis individualizado de cada compartimento permite un estudio riguroso del equipo, puesto que los resultados van a divergir entre la salida de cada uno de ellos, principalmente, por la diferencia que presentan en la concentración de isooctano en la entrada. Por este motivo, la salida del primer reactor presenta una menor concentración de dodecano que la correspondiente al 5% de selectividad y más conversión de la reacción principal, dicho de otro modo, la reacción secundaria se desarrolla en menor medida debido a la baja concentración de isooctano. En cambio, en las sucesivas cámaras, al alimentar, junto con el reactivo en exceso y una nueva corriente del limitante, el isooctano producido en los compartimentos anteriores, la producción de dodecano aumenta considerablemente. Se presentan a continuación los balances de materia individualizados.

En primer lugar, en la Tabla 1.5, el balance de materia del primer compartimento.

Tabla 1.5. Balance de materia del primer compartimento del reactor en caudales másicos y molares.

Compuesto	Entrada $R_1$ (kmol/h)	Entrada $R_1$ (kg/h)	Vapor $R_1$ (kmol/h)	Vapor $R_1$ (kg/h)	Líquido $R_1$ (kmol/h)	Líquido $R_1$ (kg/h)
<b>Propano</b>	20,55	906,26	7,34	323,80	13,21	582,46
<b>n-Butano</b>	40,66	2.363,19	5,58	324,28	35,08	2.038,91
<b>Isobutano</b>	628,98	36.559,15	113,25	6.582,86	510,27	29.658,98
<b>Buteno</b>	5,72	321,33	0,02	1,34	0,12	6,90
<b>Isooctano</b>	0,05	5,24	0,03	3,22	5,36	611,79
<b>Dodecano</b>	-	-	-	-	0,12	20,63
<b>Total</b>	695,96	40.155,17	126,22	7.235,50	564,16	32.919,67

El término entrada al primer compartimento del reactor ( $R_1$ ) engloba la recirculación (que contiene la salida de colas de la despropanizadora, la salida de cabezas de la desisobutanizadora y la alimentación de isobutano) y la corriente de buteno fresca. El valor no se corresponde con la suma de las entradas del balance de materia global puesto que al primer compartimento sólo se alimenta una fracción de la corriente de buteno.

Se observa que la salida en estado vapor, nombrada como Vapor  $R_1$ , posee un caudal menor que la líquida pero, aun así, considerable. Esto se debe a que la carcasa actúa como un tanque flash y separa la parte de la corriente que se encuentra como vapor en equilibrio con el líquido a la entrada debido al pequeño cambio de presión (de 3,25 bar a 3). Esto se hace para obtener una relación entre caudales líquido/vapor de 3, óptimo para reducir costes (Luyben, 2009).

La Tabla 1.6, que se muestra a continuación, permite comprender la fracción de esta corriente resultante de la evaporación por absorción de la energía de reacción y la fracción que ya se encontraba evaporada y simplemente se separa en el cabezal.

Tabla 1.6. Composición de las corrientes que conforman el vapor obtenido en el primer compartimento

Compuesto	Total (kmol/h)	Total (kg/h)	Cabezal (kmol/h)	Cabezal (kg/h)	Reacción (kmol/h)	Reacción (kg/h)
<b>Propano</b>	7,34	323,80	6,12	269,91	1,22	53,89
<b>n-Butano</b>	5,58	324,28	4,24	246,40	1,34	77,88
<b>Isobutano</b>	113,25	6.582,86	93,76	5.449,77	19,49	1.133,09
<b>Buteno</b>	0,02	1,34	0,02	1,34	-	-
<b>Isooctano</b>	0,03	3,22	0,03	3,22	-	-
<b>Dodecano</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	126,22	7.235,50	104,17	5.970,64	22,05	1.264,86

Donde la columna denominada total representa la suma del vapor extraído en el cabezal, perteneciente a la recirculación y representada en la columna denominada cabezal, y el producido durante la reacción absorbiendo la energía liberada, presentada su composición en la columna llamada reacción.

Así, se estima en torno a 22 kmol/h de reactivo en exceso e inertes necesarios para la autorefrigeración del reactor. Debido al considerable exceso de reactivo, su composición es suficiente en sucesivos compartimentos con el fin de obtener una selectividad elevada de la reacción principal.

Continuando el análisis detallado, se presenta en la Tabla 1.7 el balance de materia del segundo compartimento.

Tabla 1.7. Balance de materia del segundo compartimento del reactor en caudales másicos y molares.

Compuesto	Entrada R <sub>2</sub> (kmol/h)	Entrada R <sub>2</sub> (kg/h)	Vapor R <sub>2</sub> (kmol/h)	Vapor R <sub>2</sub> (kg /h)	Líquido R <sub>2</sub> (kmol/h)	Líquido R <sub>2</sub> (kg/h)
<b>Propano</b>	13,76	606,87	1,25	55,28	12,51	551,59
<b>n-Butano</b>	37,85	2.199,74	1,06	61,43	36,79	2.138,31
<b>Isobutano</b>	512,48	29.787,64	19,54	1.135,51	487,67	28.345,29
<b>Buteno</b>	5,64	317,38	-	0,26	0,13	7,46
<b>Isooctano</b>	5,36	611,79	0,01	0,88	10,38	1.186,52
<b>Dodecano</b>	0,12	20,63	-	-	0,36	61,52
<b>Total</b>	575,21	33.544,05	21,86	1.253,36	547,84	32.290,69

En esta ocasión, toda la corriente de vapor, nombrada como Vapor R<sub>2</sub>, es resultante de la absorción de la energía de reacción y consecuente evaporación de inertes y reactivo en exceso. Se corrobora el valor anterior situado en torno a 22 kmol/h, siendo esta vez un poco menor por la menor presencia de propano tras su retirada parcial en el primer compartimento. Esto conlleva mayor evaporación de isobutano, compuesto con mayor entalpía de vaporización, por lo que se precisa menos caudal para mantener la temperatura constante.

Finalmente, el balance de materia del último compartimento se presenta en la Tabla 1.8.

Tabla 1.8: Balance de materia del tercer compartimento del reactor expresado en caudales másicos y molares

Compuesto	Entrada R <sub>3</sub> (kmol/h)	Entrada R <sub>3</sub> (kg/h)	Vapor R <sub>3</sub> (kmol/h)	Vapor R <sub>3</sub> (kg/h)	Líquido R <sub>3</sub> (kmol/h)	Líquido R <sub>3</sub> (kg/h)
<b>Propano</b>	13,06	575,99	1,23	54,27	11,83	521,72
<b>n-Butano</b>	39,55	2.299,14	1,12	65,30	38,43	2.233,84
<b>Isobutano</b>	489,89	28.473,95	18,99	1.103,84	465,89	27.079,40
<b>Buteno</b>	5,66	317,95	0,11	6,09	0,08	4,33
<b>Isooctano</b>	10,38	1186,52	0,01	1,14	14,90	1.701,88
<b>Dodecano</b>	0,36	61,52	-	-	0,84	143,26
<b>Total</b>	558,90	32.915,07	21,46	1.230,64	531,97	31.684,43

Se corrobora la necesidad de un caudal de evaporado menor pero también próximo a los 22 kmol/h por el motivo expuesto anteriormente.

Finalmente, la corriente líquida obtenida en el último reactor y la de vapor resultante de la mezcla de las tres salidas de los diferentes compartimentos se conducen a la desisobutanizadora y a la despropanizadora, respectivamente. Ambas columnas de destilación tienen como función separar los compuestos para recircular el reactivo en exceso, purgar inertes evitando su acumulación y, en el caso de la primera, purificar el producto deseado. Se comprueba la exactitud de los balances con el cierre de los mismos y la verificación de la conservación de la materia en cada compartimento y a nivel global.

En la Tabla 1.9 se presentan los resultados de cada tanque en lo referido al isooctano y dodecano producido en función del buteno introducido.

Tabla 1.9. Conversiones y selectividades de los compartimentos.

Compartimento	Conversión en función del buteno introducido (%)	
	Isooctano	Dodecano
<b>Primer tanque</b>	95,40	2,00
<b>Segundo tanque</b>	93,40	4,25
<b>Tercer tanque</b>	88,50	8,50
<b>Global</b>	93,50	5,00

Se corrobora así la selectividad de la reacción secundaria establecida en el 5% así como la conversión de la reacción principal, establecida en el 98,5% que, multiplicada por la selectividad de esta reacción, permite obtener el valor del 93,5% del buteno introducido que se transforma en isooctano.

Destacar que estos porcentajes no se refieren al isooctano en cada compartimento ya que una fracción se consume en la reacción secundaria. Así, en el caso global el caudal de salida es menor, en concreto del 88,5% del buteno introducido, ya que el 5% restante se consume junto con el buteno correspondiente para la producción de dodecano. Comentar finalmente que los parámetros globales no son resultado de la media de los tres compartimentos sino algo mayor a ella ya que el buteno que no reacciona en un compartimento no se extrae del reactor sino que se introduce al siguiente junto con la fracción fresca correspondiente.

### 1.3.2. BALANCE DE ENERGÍA DEL REACTOR

Se presenta en la ecuación (1.12) la ecuación general para el desarrollo del balance de energía.

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} = \text{Acumulación} \quad (1.12)$$

El término entrada, al igual que el de salida, representa la entalpía que poseen las corrientes que entran, o salen, del reactor. Así, teniendo en cuenta que no se precisa un fluido refrigerante, la diferencia entre los dos términos se corresponde con la energía absorbida por la mezcla para evaporarse parcialmente. Esto se debe a que no existe acumulación por lo que el calor liberado en la reacción es absorbido en su totalidad por los reactivos, productos e inertes.

Por tanto, para saber las concentraciones del líquido y del vapor es necesario calcular, en primer lugar, la energía de reacción liberada, según la ecuación (1.13).

$$G = \frac{(-\Delta H_r)(-r_B)dV_r}{-v_B} \quad (1.13)$$

Donde G es la energía liberada (kW),  $\Delta H_r$  es la entalpía molar de la reacción de alquilación a 19,5°C (kJ/kmol),  $r_B$  se corresponde con la velocidad molar de esa reacción, referida al reactivo limitante, a 19,5°C (kmol/m<sup>3</sup>.s),  $V_r$  es el volumen del reactor utilizado (m<sup>3</sup>) y  $v_B$  es el coeficiente estequiométrico del reactivo limitante, buteno en esta ocasión.

Teniendo en cuenta que el calor de reacción es la suma de la energía liberada en la formación del producto y del subproducto, que en ambos casos el coeficiente estequiométrico es uno y que el producto de la velocidad de reacción y el volumen del reactor es el caudal molar producido de cada compuesto, respectivamente, la ecuación final se presenta numerada como (1.14).

$$G = \Delta H_I F_I + \Delta H_D F_D \quad (1.14)$$

Donde  $G$  es la energía liberada (kW),  $\Delta H$  es la entalpía de vaporización (kJ/kmol),  $F$  es el caudal molar (mol/s) y los subíndices I y D simbolizan al isooctano y al dodecano, respectivamente.

En la Tabla 1.10 se presenta la energía desprendida en cada compartimento teniendo en cuenta las entalpías de ambas reacciones y los caudales molares de producto y subproducto presentados en el balance de materia.

Tabla 1.10. Cálculo de la energía liberada en la reacción

Parámetro	Valor
$\Delta H_I$ (kJ/kmol)	-90.722
$\Delta H_D$ (kJ/kmol)	-65.132
$G_1$ (kW)	-142,79
$G_2$ (kW)	-143,20
$G_3$ (kW)	-146,53

Se aprecia que la energía desprendida crece por compartimento, debido a que la selectividad de la reacción principal disminuye mientras que la de la reacción secundaria aumenta a medida que se avanza en el reactor por el incremento de la concentración de isooctano. Es decir, hay más moléculas que experimentan las dos reacciones para transformarse, finalmente, en dodecano, liberando la energía correspondiente a ambas. Sin embargo, la vaporización y extracción parcial de los componentes más volátiles y la pequeña diferencia en la energía liberada por la reacción provoca que el caudal de isobutano evaporado sea prácticamente constante en los tres compartimentos.

Esta energía liberada durante el transcurso de la reacción es absorbida totalmente por la mezcla evaporándose parcialmente, ya que el reactor es adiabático. Por motivo de la complejidad del estudio del equilibrio líquido-vapor de la mezcla de seis componentes con el correspondiente cálculo de las composiciones de cada una de las fases, se realizan los cálculos con la ayuda del simulador Aspen Hysys. Analizando los resultados se comprueba que el efecto de mezcla, a pesar de poseer un efecto pequeño en comparación con la suma de las entalpías de evaporación de los compuestos, no se puede despreciar. Los resultados de la simulación se presentan en los balances de materia de cada compartimento al mostrar la composición de las corrientes de líquido y vapor tras absorber la energía liberada en el reactor.

### 1.3.3. ECUACIÓN DE DISEÑO DEL REACTOR

Con el objetivo del cálculo del volumen requerido para la obtención del producto con la conversión deseada se desarrolla la ecuación según de modelo del reactor de mezcla completa.

La característica principal de este reactor es, idealmente, la uniformidad de las propiedades en todo el tanque, es decir, cualquier punto dentro del volumen del líquido se encuentra a la misma temperatura, presión y composición que los demás debido a la mezcla perfecta. Por tanto, los compuestos dentro del reactor se encuentran, en todo momento, en condiciones de salida. Se diferencia del reactor de flujo pistón por la mezcla tanto axial como longitudinal de los reactivos, consiguiendo así una composición uniforme en todo el volumen, a diferencia del flujo pistón donde varía a medida que avanzan los reactivos por el equipo. (Nauman, 2008)

Por tanto, el balance de materia, referido al reactivo limitante, iniciado en la ecuación (1.15) no se aplica a un elemento infinitesimal, sino que a todo el volumen, considerado constante, al igual que la conversión (Levenspiel, 2004).

$$E - S + G = A \quad (1.15)$$

Y, al encontrarse en estado estacionario, el balance resulta según la ecuación (1.16)

$$E - S = -G \quad (1.16)$$

Se procede al análisis de cada término:

- $E$  = Entrada de buteno al reactor =  $F_{A0}$  (kmol/h)
- $S$  = Salida de buteno del reactor =  $F_A$  (kmol/h)
- $G$  = Generación/Desaparición de buteno =  $(-r_A) dV = (-r_A) V$  (kmol/h)

Pero, como se desea dejar en función de la conversión (referida al reactivo limitante) en lugar del flujo molar, se relacionan ambos según la ecuación (1.17).

$$X_A = \frac{F_{A0} - F_A}{F_{A0}} \quad (1.17)$$

Con ello, se presenta la relación reorganizada en la ecuación (1.18).

$$F_A = F_{A0}(1 - X_A) \quad (1.18)$$

De esta manera, se sustituye en el balance de materia según la ecuación (1.19).

$$F_{A0}(1 - X_{A0}) - F_{A0}(1 - X_A) = -r_A V \quad (1.19)$$



Todos los parámetros son constantes ya que el volumen y el flujo molar de entrada no cambian, la conversión no varía a lo largo del volumen del reactor, pues la concentración es uniforme en todo el equipo e igual a la concentración de salida y, por último, la velocidad de reacción no se ve alterada ya que el reactor trabaja en condiciones isotermas.

Así, la ecuación (1.19) se simplifica en la (1.20).

$$F_{A0}(X_A - X_{A0}) = -r_A V \quad (1.20)$$

Aplicando la cinética explicada en la etapa de reacción y reorganizando términos, la ecuación resultante es la (1.21).

$$\frac{X_A - X_{A0}}{S_1 (k_1 [C_4H_8] [C_4H_{10}]) + S_2 (k_2 [C_4H_8] [C_8H_{18}])} = \frac{V}{F_{A0}} \quad (1.21)$$

Donde:

- $S_1$  = selectividad de la reacción principal.
- $S_2$  = selectividad de la reacción secundaria.
- $X_A$  = conversión de la reacción principal.
- $X_{A0}$  = conversión a la entrada del reactor.
- $k_1$  = parámetro cinético de la ecuación principal, (m<sup>3</sup>/kmol.s).
- $k_2$  = parámetro cinético de la ecuación secundaria, (m<sup>3</sup>/kmol.s).
- $[C_4H_8]$  = concentración de buteno en el reactor, (kmol/m<sup>3</sup>).
- $[C_4H_{10}]$  = concentración de isobutano en el reactor, (kmol/m<sup>3</sup>).
- $[C_8H_{18}]$  = concentración de isooctano en el reactor, (kmol/m<sup>3</sup>).
- $V$  = Volumen requerido de reactor (m<sup>3</sup>).
- $F_{A0}$  = Caudal molar inicial, (kmol/s).

Valorando el exceso de isobutano, su concentración se considera constante e independiente de la conversión, es decir, se considera una cinética de pseudoprimer orden de la reacción principal. Además, la pequeña selectividad de la reacción secundaria en comparación con la principal permite la simplificación del segundo término del denominador y la conversión inicial es nula resultando la ecuación (1.22).

$$\frac{X_A}{S_1 (k_1 [C_4H_8]_0 (1 - X_A) [C_4H_{10}]_0)} = \frac{V}{F_{A0}} \quad (1.22)$$

Donde el subíndice '0' denota que la concentración es inicial, antes de la entrada al reactor. Para la obtención de la ecuación final, presentada como (1.23), se despeja el volumen.

$$\frac{F_{A0} X_A}{S_1 (k_1 [C_4H_8]_0 (1 - X_A) [C_4H_{10}]_0)} = V \quad (1.23)$$

### 1.3.4. OBTENCIÓN DEL VOLUMEN DEL REACTOR

Tras el desarrollo de la ecuación de diseño de un reactor de mezcla completa y su presentación numerada como (1.23), se procede al cálculo del volumen de los tres reactores mediante la sustitución de los valores establecidos en las secciones de *Condiciones de operación* y *Balance de materia al reactor*.

Se presenta en la Tabla 1.11 los factores para determinar el volumen del primer compartimento, junto con su valor. A pesar de las pequeñas diferencias entre las conversiones y las selectividades en los diferentes compartimentos se simplifica al mismo valor, el global.

Tabla 1.11. Volumen del primer compartimento

Parámetro	Valor
$k_1$ (m <sup>3</sup> /kmol.s)	5,65.10 <sup>-3</sup>
$F_{A0}$ (kmol/h)	5,70
$X_A$	0,985
$S_1$	0,950
$[C_4H_8]_0$ (kmol/m <sup>3</sup> )	0,094
$[C_4H_{10}]_0$ (kmol/m <sup>3</sup> )	8,80
Volumen (m <sup>3</sup> )	23,42

Para el caso del segundo tanque se utiliza la misma ecuación donde simplemente cambia la concentración de buteno y la de isobutano y en pequeña proporción. En el caso de la primera aumenta ya que, a pesar de que los moles disminuyen (puesto que la fracción introducida es la misma, sin embargo se suma el no reaccionado del tanque anterior pero no el recirculado de las columnas), el volumen total también lo hace y en mayor medida, pues parte se evapora. En lo relativo a la concentración de isobutano, se ve disminuida al evaporarse una parte del mismo anteriormente. El caudal evaporado se muestra en la sección *Balance de materia al reactor*. Se presentan los valores para el segundo compartimento en la Tabla 1.12.

Tabla 1.12. Volumen del segundo compartimento

Parámetro	Valor
$F_{A0}$ (kmol/h)	5,65
$[C_4H_8]_0$ (kmol/m <sup>3</sup> )	0,094
$[C_4H_{10}]_0$ (kmol/m <sup>3</sup> )	8,80
Volumen (m <sup>3</sup> )	23,42

Por último, en el tercer reactor se valora de nuevo el cambio en las dos concentraciones de reactivos y se presentan los resultados en la Tabla 1.13.

Tabla 1.13. Volumen del tercer compartimento

Parámetro	Valor
$F_{A0}$ (kmol/h)	5,65
$[C_4H_8]_0$ (kmol/m <sup>3</sup> )	0,097
$[C_4H_{10}]_0$ (kmol/m <sup>3</sup> )	8,44
Volumen (m <sup>3</sup> )	23,49

A la vista de los resultados se puede concluir con la necesidad de un volumen idéntico para los tres compartimentos con un valor de 23,5 m<sup>3</sup>.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta el volumen de ácido requerido para la reacción. Para determinarlo se utiliza la velocidad volumétrica establecida en 0,3h<sup>-1</sup> y la alimentación de buteno obteniendo el valor presentado en la Tabla 1.14.

Tabla 1.14. Volumen de catalizador en el reactor R-201

Parámetro	Valor
$Q_{A0}$ (m <sup>3</sup> /h)	1,59
$V_{\text{volumétrica}}$ (h <sup>-1</sup> )	0,30
$V_{\text{catalizador}}$ (m <sup>3</sup> )	8,80

Pero, en sistemas como este, el catalizador que emulsiona se corresponde, aproximadamente, con el 60% del total por lo que se sobredimensiona. Así, se obtiene un volumen de ácido sulfúrico en el reactor de 8,5m<sup>3</sup>, repartidos proporcionalmente en los tres tanques debido a la alimentación fraccionada equimolarmente del reactivo limitante. (Feller, y otros, 2004)

En conclusión, teniendo en cuenta el resultado obtenido para conseguir la conversión deseada, el catalizador necesario y un sobredimensionamiento correspondiente al 33% del volumen total de líquido aproximadamente, se establece un volumen de cada reactor de 35 m<sup>3</sup>. Este volumen añadido tiene como objetivo permitir la evaporación y extracción de la fracción de los inertes y el reactivo en exceso correspondiente de manera segura y eficaz para la refrigeración de la mezcla, así como compensar el volumen que precisa el agitador, las láminas entre compartimentos y pequeñas variaciones en el caudal de entrada.

Se presenta a continuación, a nivel gráfico, en la Figura 1.2, la Figura 1.3 y la Figura 1.4 la variación de la conversión expresada como caudal molar del reactivo limitante, del producto y del subproducto en función del volumen del reactor. Con la observación de las gráficas se verifica que es necesario un volumen de 23,5 m<sup>3</sup> para obtener las elevadas conversiones presentadas en la Tabla 1.9 en cada compartimento, así como del 98,5% global. De igual manera se comprueban los valores de la selectividad de la reacción secundaria. Estas gráficas han sido elaboradas con la representación de las ecuaciones cinéticas mostradas en la sección de

#### *Cinética de reacción.*

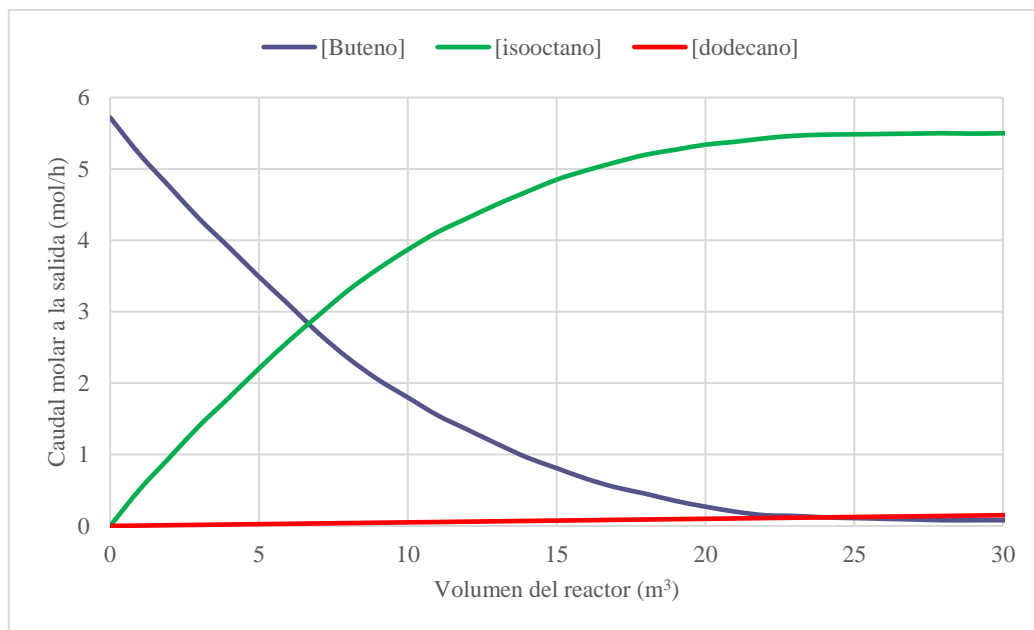


Figura 1.2. Caudales molares a la salida del primer compartimento en función de su volumen

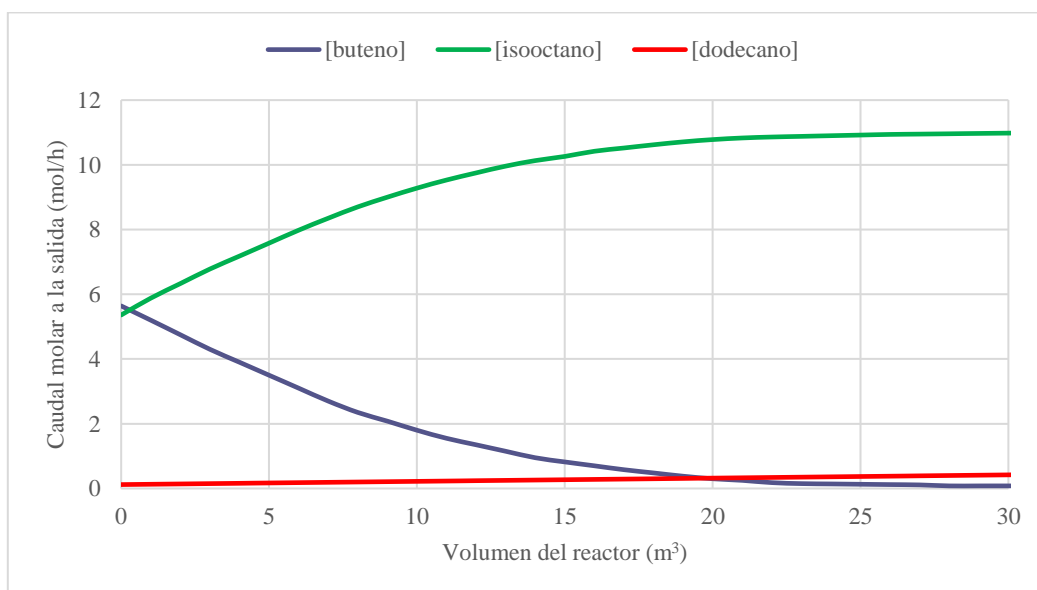


Figura 1.3. Caudales molares a la salida del segundo compartimento en función de su volumen.

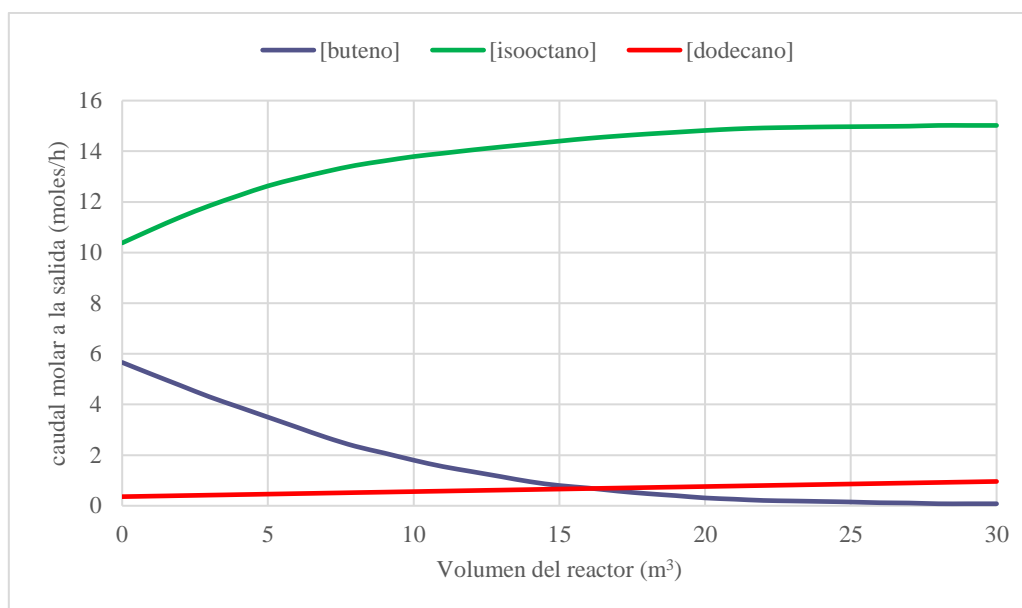


Figura 1.4. Caudales molares a la salida del tercer compartimento en función de su volumen

Finalmente, el reactor necesita un volumen destinado a la decantación. Para ello, se presenta la ecuación (1.24).

$$A = \frac{Q}{C_H} \quad (1.24)$$

Donde A denota el área necesaria para la decantación ( $m^2$ ), Q es el caudal que se desea decantar ( $m^3/d$ ) y  $C_H$  representa la carga superficial ( $m^3/m^2.d$ ).

Se presenta en la Tabla 1.15 las dimensiones del decantador.

Tabla 1.15. Dimensiones de decantación del reactor R-201

Parámetro	Valor
<b>Q (<math>m^3/d</math>)</b>	1.545
<b><math>C_H</math> (<math>m^3/m^2.d</math>)</b>	80,0
<b>Área (<math>m^2</math>)</b>	19,3
<b>Longitud (m)</b>	7,0

Es decir, es necesario una sección extra en el reactor de 7 metros de longitud destinada a la decantación de la mezcla hidrocarburos/ácido. Este valor se obtiene considerando que la interfase se halla a 1 metro de altura. Con estas medidas se obtiene un tiempo de decantación de las partículas de 38 minutos considerando como volumen el ocupado por el líquido, el 60% del volumen del compartimento y como caudal, el flujo de hidrocarburos y ácido a tratar. Se corrobora que el tiempo de decantación del ácido es inferior a su tiempo de residencia en el equipo.

### 1.3.5. DIMENSIONES DEL REACTOR

Una vez conocido el volumen de los tres reactores, se establecen las medidas necesarias para obtenerlo. Para ello, se considera el equipo como un recipiente dividido en tres compartimentos para la alquilación que representan los tres tanques agitados horizontales, por lo que el diámetro de este recipiente se corresponde con el diámetro de los tanques individuales. Estableciendo una relación longitud/diámetro de 1 aproximadamente para cada tanque individual, las dimensiones del reactor se presentan en la Tabla 1.16.

Tabla 1.16: Dimensiones del reactor

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Volumen líquido (m<sup>3</sup>)</b>	23,41
<b>Volumen catalizador (m<sup>3</sup>)</b>	2,83
<b>Volumen total (m<sup>3</sup>)</b>	35,00
<b>Diámetro (m)</b>	3,50
<b>Longitud de cada tanque (m)</b>	3,65
<b>Relación individual L/D</b>	1,04
<b>Relación total L/D</b>	3,13
<b>Tiempo de residencia (min)</b>	24,00

Por tanto, a modo de resumen, el reactor de alquilación posee 3,50 metros de diámetro y 18 metros de longitud, una relación, aproximada, de 5, dividido en tres compartimentos donde tiene lugar la reacción y uno para la decantación.

En lo referido a los primeros, el tiempo de residencia promedio de la olefina, calculado como la relación entre el volumen de cada compartimento y el caudal de reactivos introducido, es de 24 minutos, adecuado, considerando un valor óptimo comprendido entre 20 y 30 minutos. (McKetta, 1977).

En lo que respecta al último compartimento, tiene como objetivo separar los productos y el ácido, recirculando el último o enviándolo a regenerar, según su concentración, y transportando los primeros a la sección 400 de purificación del producto. El tiempo de decantación de cada molécula es, de media, de 38 minutos, superior al necesario para el proceso, lo que permite corroborar el diseño (A. E. Koklin, 2010).

### 1.3.6. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA INTERNA DEL REACTOR

Una vez establecidas las dimensiones del reactor, se procede a un realizar un análisis de su estructura interna llevando a cabo el diseño del agitador, de las alimentaciones de los reactivos y de la geometría de cada tanque agitado.

#### 1.3.6.1 ALIMENTACIÓN DE REACTIVOS

El modelo de contacto de los compuestos en reactor está condicionado por el sistema reactivo. La reacción secundaria de polimerización obliga a un control riguroso de las concentraciones de los reactivos, impidiendo la alimentación sencilla de ambas corrientes por boquillas próximas situadas en la entrada del reactor. Por su parte, el reactivo en exceso, recirculado tras la separación en ambas columnas de destilación y mezclado con la alimentación fresca, se introduce al inicio del reactor, en el cabezal. Esto se lleva a cabo con el objetivo de retirar la pequeña fracción de la corriente que se pueda encontrar en estado vapor por la ligera disminución de la presión a la entrada. Por ello, el cabezal actúa como un separador flash. De esta manera, con esta medida de seguridad, se obtiene por arriba una corriente de menor caudal compuesta por propano, butano e isobutano mientras que la mayor parte de la misma se incorpora como líquido al primer compartimento. Debido a la existencia de una lámina separando el cabezal del primer compartimento, el líquido se introduce en el mismo por la parte inferior, donde existe un espacio libre. En este compartimento se presenta un gran volumen de reactivo en exceso, junto con el ácido, que también se introduce en el cabezal por otra boquilla.

En cambio, el reactivo limitante, que interviene en la comentada reacción de polimerización, se alimenta de manera que no se encuentra en ningún momento en una concentración excesiva que pueda reducir la selectividad de la reacción principal. Por ello, la corriente de buteno se introduce al reactor equimolarmente en los diferentes compartimentos y por una boquilla a un tubo incorporado al agitador, de manera que se insertan en el centro del tanque para favorecer su mezclado con el otro reactivo y con el catalizador.

#### 1.3.6.2 AGITADOR

La agitación se define como el movimiento que experimenta un fluido de una manera específica, generalmente circular por medio de un dispositivo dentro de un recipiente abierto o cerrado. Se diferencia del mezclado en el movimiento aleatorio, de este último, de dos fases inicialmente separadas. Existen diferentes finalidades de la agitación de un recipiente en función de las propiedades de los compuestos existentes en el mismo destacando su fase y su miscibilidad. (Paul, y otros, 2004)

En esta ocasión, dicha actividad presenta la función de dispersar un segundo líquido, inmiscible en el primero, para formar una emulsión o suspensión de gotas diminutas, aumentando así su superficie específica. Normalmente presenta más de una finalidad y, en este reactor, esa segunda función es el mantenimiento de la temperatura homogénea en todo el compartimento, evitando la formación de puntos calientes y favoreciendo la evaporación parcial por la exotermicidad de la reacción.

Para llevar a cabo el diseño del sistema de agitación es necesario valorar determinados criterios como son la viscosidad, la velocidad a inducir al fluido, el modelo de flujo producido, la relación de diámetros agitador/tanque y la geometría del propio recipiente. (Sinnott, 2005)

### Tipos de agitadores

La agitación de líquidos se lleva a cabo, generalmente, en tanques o recipientes cilíndricos con un eje vertical. A pesar de que las proporciones del tanque presentan una influencia notoria en el diseño del agitador, existe un procedimiento estándar basado en un tanque con fondo redondeado para eliminar posibles zonas de volumen muerto. Sin embargo, en este proyecto, el reactor es horizontal, pero un diseño redondeado y específico de las láminas que separan los compartimentos permite dotar a cada uno de ellos de una geometría similar, aceptando el procedimiento de diseño y demostrando su validez posteriormente. En este estándar, el rodete se instala sobre un eje suspendido y accionado por un motor y, la peculiaridad, en esta ocasión, reside en una carcasa circular hueca recubriendo este eje por la que se alimenta el reactivo limitante al reactor.

La divergencia entre agitadores radica en el tipo de rodete. Por un lado, una hélice presenta un flujo axial y permite obtener elevadas velocidades para líquidos de baja viscosidad. Por otro, las palas y las turbinas presentan un flujo radial siendo las primeras las utilizadas para los problemas más sencillos. Están formadas por una pala plana que gira sobre un eje horizontal con un movimiento vertical prácticamente nulo. Por su parte, las turbinas, válidas para un amplio rango de viscosidades, generan corrientes rápidas, elevada turbulencia e intensa cizalladura. Comentar finalmente la existencia de rodetes específicos para fluidos viscosos como el tipo ancla, con una estructura que gira muy próxima a las paredes del tanque previniendo la adhesión de los materiales a ellas. También el tipo paleta o rejilla, más destacada cuando dichos fluidos requieren poco esfuerzo de corte (Sinnott, 2005).

El rodete seleccionado es el tipo turbina por la baja viscosidad de los compuestos, el elevado volumen del recipiente, la gran turbulencia que genera y la facilitación de la introducción del reactivo del compartimento anterior por su tipo de flujo. Con un líquido de baja viscosidad, este tipo de agitador genera fuertes corrientes en todo el volumen del tanque, destruyendo bolsas de fluido estancado o, dicho de otra manera, aumentando el porcentaje del ácido que emulsiona.



Se presenta en la Tabla 1.17 los rangos de viscosidades entre lo que trabaja cada impulsor y, teniendo en cuenta el valor de 1,42 cp en esta ocasión, aproximadamente, la selección de una turbina es adecuada.

Tabla 1.17. Selección del impulsor en función de la viscosidad del fluido. (Sinnot, 2005)

Type of impeller	Range of liquid, cP	Viscosity, kg/m – sec
Anchor	$10^2 - 2 \times 10^3$	$10^{-1} - 2$
Propeller	$10^0 - 10^4$	$10^{-3} - 10^1$
Flat-blade turbine	$10^0 - 3 \times 10^4$	$10^{-3} - 3 \times 10^1$
Paddle	$10^2 - 3 \times 10^1$	$10^{-1} - 3 \times 10^1$
Gate	$10^3 - 10^5$	$10^0 - 10^2$
Helical screw	$3 \times 10^3 - 3 \times 10^5$	$3 - 3 \times 10^2$
Helical ribbon	$10^4 - 2 \times 10^6$	$10^1 - 2 \times 10^3$
Extruders	$>10^6$	$>10^3$

### Modelo de flujo

Se continúa el estudio del agitador analizando el modelo de flujo. En función de las características como el tipo de rodete, los compuestos a agitar y las dimensiones y los elementos internos del tanque se establece el tipo de flujo, motivo que dota de gran relevancia al análisis del agitador para el diseño del reactor. La velocidad que presenta la mezcla de hidrocarburos y ácido en cualquier punto de un compartimento se divide en tres componentes, la velocidad radial (perpendicular al eje del rodete), la velocidad longitudinal (paralela al eje) y la velocidad tangencial (tangencial a la trayectoria descrita por el rodete). En el caso de la utilización de un eje vertical, las componentes radial y longitudinal favorecen la mezcla mientras que la tangencial es perjudicial debido a la formación de un vórtice en la superficie del líquido que desencadena en una estratificación permanente de los compuestos sin mezclar. Además, presenta también problemas de reducción de velocidad y, en casos de remolinos intensos, la profundidad del vórtice puede provocar la introducción de gas que se encuentre encima de él (Walas, 1990).

Por todos estos motivos, es necesario tomar una decisión para que la agitación tenga lugar de manera eficaz y con el consumo óptimo de energía. Valorando el tamaño del tanque y la disposición del eje, la medida óptima es la utilización de placas deflectoras soldadas a las láminas entre compartimentos y a las paredes de la carcasa (Walas, 1990).

Tras evitar este problema, el tipo de flujo establecido viene determinado por el tipo de rodete y, para el caso de la turbina, presenta un flujo radial generando una dinámica presentada en la Figura 1.5.

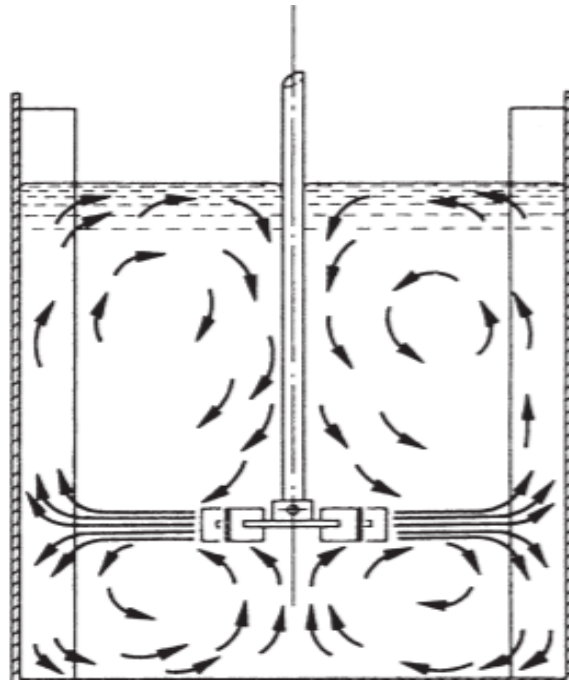


Figura 1.5. Flujo generado por un agitador de turbina

Fuente: (Sinnott, 2005)

### Diseño estándar de una turbina

El diseño de un sistema de agitación se lleva a cabo valorando diversos parámetros como la elección del tipo de rodete, la localización del equipo, sus proporciones y el número y dimensiones de las placas deflectoras, entre otros. Como inicio del diseño de un agitador tipo turbina, se presenta su estructura en la Figura 1.6 y, para la obtención de sus dimensiones se utilizan las ecuaciones (1.25) a (1.30).

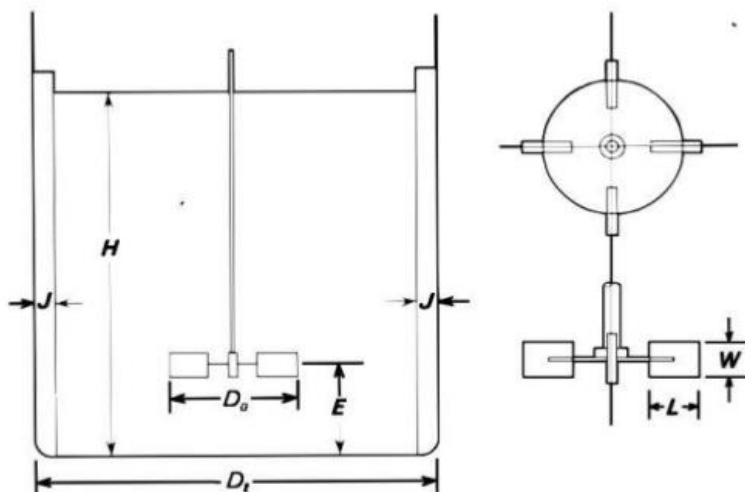


Figura 1.6. Medidas de un agitador de turbina. Fuente: (Walas, 1990)

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad (1.25)$$

$$\frac{E}{D_a} = 1 \quad (1.26)$$

$$\frac{H}{D_t} = 1 \quad (1.27)$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad (1.28)$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \quad (1.29)$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad (1.30)$$

Además, el número de placas deflectoras se establece, generalmente, en cuatro mientras que, el número de palas del agitador entre seis y ocho preferentemente. A pesar de que algún motivo específico puede provocar las variaciones en las dimensiones, se resuelven las ecuaciones indicadas para el diseño de agitación del reactor, se utilizan cuatro placas deflectoras y el agitador consta de seis palas planas y un disco que dota al equipo de mayor estabilidad. La estructura del rodete se presenta en la Figura 1.7.

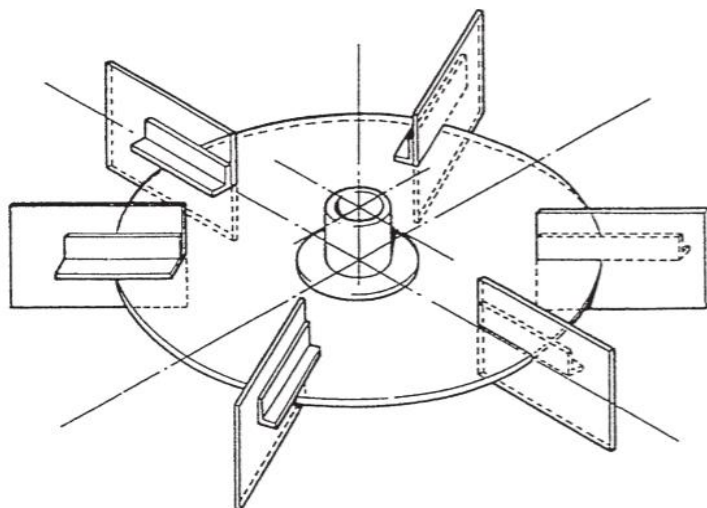


Figura 1.7. Agitador de turbina de seis palas planas. Fuente: (Walas, 1990)

Una vez conocida la estructura del equipo de agitación se procede al cálculo de la potencia requerida. Para conseguir un proceso de agitación eficaz, es necesario que el fluido agitado alcance todo el volumen del líquido de cada compartimento, por lo que, además de la velocidad de circulación es necesario contemplar también la turbulencia. Ambos parámetros requieren energía para producirse correctamente y el proceso para la determinación de la potencia necesaria presenta los siguientes pasos.

- Establecimiento de una velocidad de giro del agitador ( $N$ ), medida en rpm.
- Cálculo del número de Reynolds según la ecuación (1.31).

$$Re = \frac{\rho N D_a^2}{\mu} \quad (1.31)$$

Donde  $N$  es la velocidad de giro del agitador (rps),  $D_a$  su diámetro (m) y  $\rho$  y  $\mu$  la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) y viscosidad (Pa.s) del fluido a agitar, respectivamente. Se define como régimen laminar cuando el valor de este parámetro es menor a 10 y turbulento cuando supera los 10.000.

- Cálculo del número de potencia ( $N_p$ ) por medio de la Figura 1.8 para turbinas de seis palas planas y cuatro placas deflectoras.

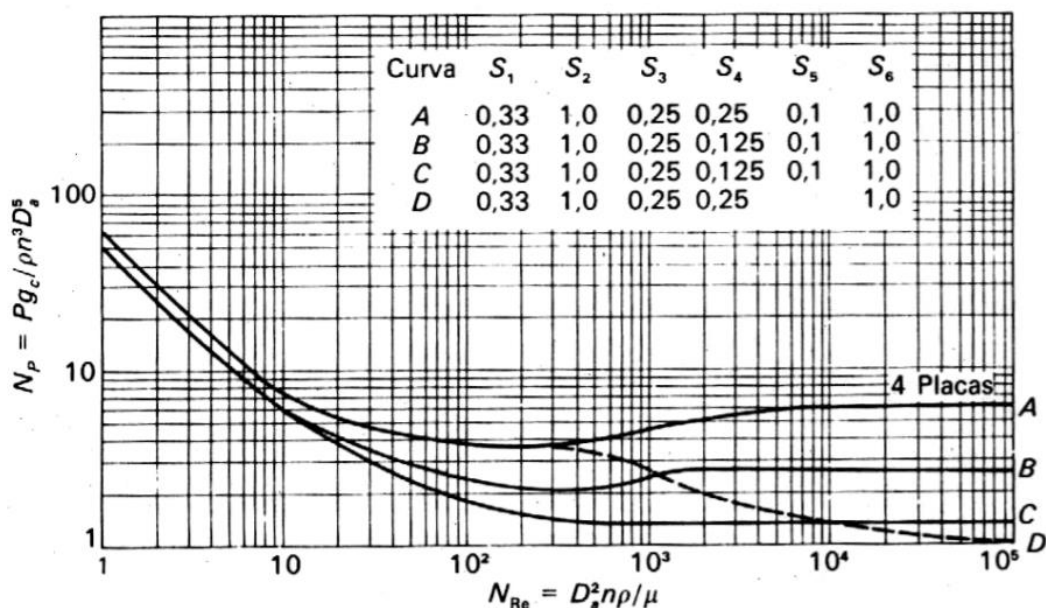


Figura 1.8. Determinación del número de potencia. Fuente: (Sinnott, 2005)

- Cálculo de la potencia requerida, según la ecuación (1.32).

$$N_p = \frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} \quad (1.32)$$

Donde P es la potencia requerida por el agitador (W),  $N_p$  el número de potencia,  $\rho$  la densidad del fluido a agitar ( $\text{kg/m}^3$ ), N es la velocidad de giro del agitador (rps) y  $D_a$  el diámetro del agitador (m)

Alternativamente, se pueden utilizar ecuaciones según el tipo de flujo.

1.  $Re < 300$ : para este caso la relación entre el número de potencia y el de Reynolds coinciden para el caso de poseer placas deflectoras o no. Se corresponde con flujo laminar, la densidad no influye y la potencia se determina según la ecuación (1.33).

$$P = K_L N^2 D_a^3 \mu \quad (1.33)$$

Donde P es la potencia requerida (W),  $K_L$  es un parámetro dependiente del tipo de agitador y se determina con la Tabla 1.18, N es la velocidad de giro (rps),  $D_a$  el diámetro del agitador (m) y  $\mu$  la viscosidad del fluido a agitar (Pa.s).

2.  $Re > 10.000$ : en este caso el número de potencia es independiente del Reynolds. Se relaciona con flujo turbulento, la viscosidad no influye y la potencia se determina con la ecuación (1.34).

$$P = K_T N^3 D_a^5 \rho \quad (1.34)$$

Donde  $P$  es la potencia requerida (W),  $K_T$  es un parámetro dependiente del tipo de agitador y se determina con la Tabla 1.18,  $N$  es la velocidad de giro (rps),  $D_a$  el diámetro del agitador (m) y  $\mu$  la viscosidad del fluido a agitar (Pa.s).

Tabla 1.18. Constantes  $K_L$  y  $K_T$  en función del agitador

Tipo de rodete	$K_L$	$K_T$
Hélice, paso cuadrado, tres palas	41,0	0,32
Hélice, paso de dos, tres palas	43,5	1,00
Turbina, seis palas planas	71,0	6,30
Turbina, seis palas curvas	70,0	4,80
Turbina de ventilador, seis palas	70,0	1,65
Palas planas, dos palas	36,5	1,70
Turbinas cerrada, seis palas curvas	97,2	1,08
Turbina cerrada sin placas deflectoras	172,5	1,12

### Dimensiones del agitador

El impulsor elegido para la agitación de cada compartimento del reactor de alquilación es una turbina con seis hojas planas y disco. El motivo reside en, a pesar de la presencia del ácido sulfúrico, la baja viscosidad global de la mezcla y la velocidad necesaria para la emulsión del ácido con el consecuente aumento de la selectividad de la reacción principal. El eje del equipo se sitúa en el centro del compartimento y, con el objetivo de evitar la formación de un vórtice, se utilizan cuatro placas deflectoras por compartimento, dos soldadas a la carcasa y dos a las láminas. Además, la opción seleccionada presenta mayor facilidad de construcción y menor coste que el agitador de hélice o de turbina con palas inclinadas.

Se presentan, en la Tabla 1.19, las dimensiones del equipo aproximándolas lo máximo posible a las resultantes de las ecuaciones (1.25) a (1.30) teniendo en cuenta las características fijadas en el apartado de *Dimensiones del reactor*.

Tabla 1.19. Dimensiones del sistema de agitación

Dimensión (m)	Valor
Diámetro del tanque ( $D_t$ )	3,65
Diámetro del agitador ( $D_a$ )	1,22
Altura del líquido (H)	2,50
Espesor placas deflectoras (J)	0,15
Altura del agitador (E)	1,22
Anchura de las palas (W)	0,24
Longitud de las palas (L)	0,30

Entendiendo las placas deflectoras como vigas de sección cuadrada de 15 cm de lado. En lo referido al motor, debe trabajar a velocidad media, suficiente para las características del ácido a emulsionar por lo que se establece en 100 rpm para los cálculos posteriores, lo que proporciona una agitación severa valorando la viscosidad de la mezcla. Es necesario valorar ciertas consideraciones respecto a dimensiones y consumos de potencia (Kumaresan, y otros, 2005).

En primer lugar, al disminuir la relación de diámetros,  $N_P$  aumenta en el caso de poseer pocas placas deflectoras y estrechas pero decrece en caso contrario. En cambio, siguiendo las dimensiones estándar con cuatro placas de 1/12 parte de grosor con respecto al diámetro, la relación de diámetros no influye sobre el número de potencia, motivo por lo que se selecciona esta correlación.

En segundo lugar, utilización de dos turbinas situadas en el mismo eje puede consumir 1,9 veces la potencia de una sola turbina en el caso de espaciarse los ejes, al menos, una distancia igual o superior al diámetro del rodete. Sin embargo, una escasa separación conlleva un consumo de 2,4 veces el de una sola. En esta ocasión, la estructura del agitador presentada a continuación conlleva a la utilización de una sola turbina, suficiente para una agitación eficaz.

Finalmente, comentar que la geometría del tanque presenta poca influencia sobre  $N_P$  de manera que la potencia consumida en un tanque cilíndrico horizontal, que presenta placas deflectoras o no, y en un tanque vertical de sección cuadrada con placas deflectoras es la misma que en un tanque cilíndrico vertical. Es decir, el modelo de circulación presenta ciertos cambios de escasa relevancia en función de la forma del tanque (menor todavía si se diseñan las láminas redondeadas) y, el consumo de potencia, es similar. Con lo cual, se considera correcto la utilización de las ecuaciones generales expuestas para la determinación de la potencia en el reactor horizontal de este proyecto.

A continuación, en la Tabla 1.20, se presentan los valores de los parámetros característicos de la agitación de cada compartimento y, finalmente, la energía consumida.

Tabla 1.20. Consumo de potencia del agitador

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad de la mezcla (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>	609
<b>Viscosidad de la mezcla (<math>\text{mPa.s}</math>)</b>	0,20
<b>Velocidad de rotación (rpm)</b>	100
<b>Número de Reynolds</b>	$7,6 \cdot 10^6$
<b>Número de potencia (Figura 1.8)</b>	6,0
<b><math>K_T</math> (Tabla 1.18)</b>	6,3
<b>Potencia consumida 1 (<math>\text{kW/m}^3</math>)</b>	1,80
<b>Potencia consumida 2 (<math>\text{kW/m}^3</math>)</b>	1,89
<b>Potencia total (kW)</b>	190

Donde la potencia de cada agitador se calcula por el método gráfico utilizando la Figura 1.8 y obteniendo el valor presentado como Potencia consumida (1) y mediante la sustitución en la ecuación (1.34) con el consecuente valor obtenido expresado como Potencia consumida (2). Una vez conocidos ambos, a pesar de su proximidad, prioriza el mayor valor, el caso más desfavorable, valorando también una eficiencia del motor del 75%. Por todo ello y, valorando que se precisan tres agitadores, el consumo del sistema de agitación, presentando como Potencia total, se establece en 190 kW.

La Tabla 1.21 presenta los rangos de potencia requeridas en función de la aplicación de la agitación por lo que, el valor obtenido de 1,9 kW/m<sup>3</sup> para la emulsión, se considera aceptable.

Tabla 1.21. Potencia de agitación según la aplicación. Fuente: (Sinnott, 2005)

<b>Agitación</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Potencia (kW/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Suave</b>	<b>Blending, mezcla</b>	0,04 - 0,10
	<b>Reacciones homogéneas</b>	0,01 - 0,03
<b>Media</b>	<b>Transferencia de calor</b>	0,03 - 1,00
	<b>Mezcla líquido-líquido</b>	1,00 - 1,50
<b>Severa</b>	<b>Suspensión de lodos</b>	1,50 - 2,00
	<b>Absorción de gases</b>	1,50 - 2,00
	<b>Emulsiones</b>	1,50 - 2,00
<b>Violenta</b>	<b>Suspensión de partículas finas</b>	> 2,00

En lo referido al material de construcción, el agitador se construye de acero inoxidable grado 316, al igual que el resto del reactor con el objetivo de soportar la corrosión frente al ácido sulfúrico concentrado.

Para finalizar el diseño se establece el diámetro del eje para dotar al equipo de agitación de la rigidez y resistencia necesaria al transmitir la potencia al fluido, mediante la ecuación (1.35).

$$D^3 = \frac{32 N_f}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_s M_a}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_m}{S_y}\right)^2} \quad (1.35)$$

Y, en este caso, debido a la inexistencia de fuerzas transversales,  $M_a$  es nulo al no producirse flexión. Por tanto, la ecuación (1.35) se reduce a la (1.36).

$$D = \left(\frac{16 \sqrt{3} N_f T_m}{\pi S_y}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (1.36)$$



Donde  $D$  es el diámetro del eje del agitador (m),  $N_f$  es el factor de seguridad, el cual se toma como 2,5,  $S_y$  es la resistencia (Pa) a la fluencia del material, acero inoxidable grado 316 en esta ocasión, y  $T_m$  el torque medio (N.m), calculado según la ecuación (1.37).

$$T_m = P/W \quad (1.37)$$

Donde  $T$  es el torque medio (N.m),  $P$  es la potencia del agitador (W) y  $W$  la velocidad de giro del agitador (m/s).

Se presenta el valor resultante junto con los parámetros influyentes en la Tabla 1.22.

Tabla 1.22. Diámetro del eje del agitador

Parámetro	Valor
<b><math>S_y</math> (Pa)</b>	$2,51 \cdot 10^8$
<b><math>P</math> (W)</b>	$4,7 \cdot 10^4$
<b><math>W</math> (m/s)</b>	10,47
<b><math>T_m</math> (N.m)</b>	$4,5 \cdot 10^3$
<b><math>N_f</math></b>	2,5
<b><math>D</math> (mm)</b>	74,0
<b><math>D_{nominal}</math> (in)</b>	3,0

Comentar que debido a la necesidad de una carcasa externa para la introducción del reactivo limitante, este diámetro es mayor.

## 1.3.6.3 GEOMETRÍA DEL REACTOR

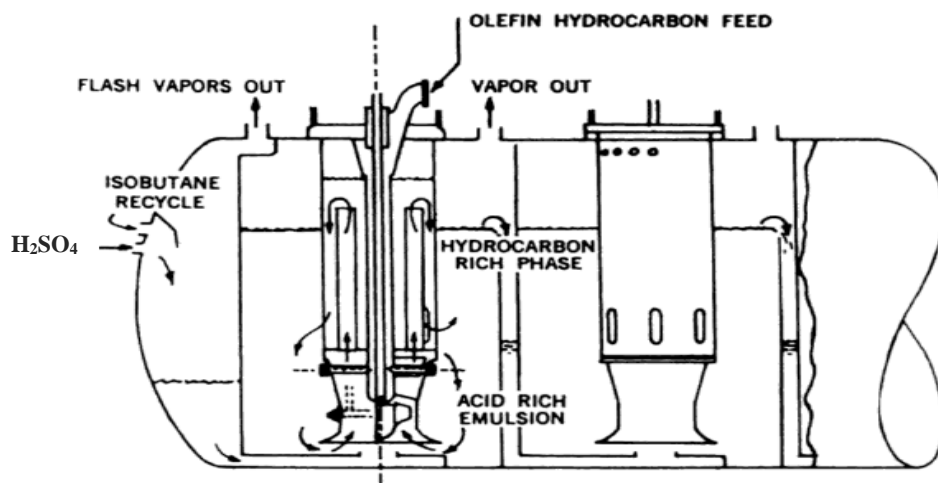


Figura 1.9: Geometría interna del reactor de alquilación Kellogg. Fuente: (McKetta, 1977)

Como se aprecia, el equipo se divide en un conjunto de reactores de tanque agitado en serie en los cuales el reactivo en exceso, junto con el ácido catalizador, avanzan de un compartimento a otro por rebose. El reactivo limitante se incorpora por la boquilla mostrada en la imagen, que se encuentra insertada al agitador, de manera que se introduce al reactor en el centro, favoreciendo la reacción principal por la relación elevada isoparafina/olefina y la fuerte agitación para el mezclado con el ácido. Se reduce el equipo a tres tanques agitados con un cuarto compartimento con la función de decantador para separar ácido e hidrocarburos. Para concluir, se lleva a cabo el diseño mecánico del reactor.

## 1.4. DISEÑO MECÁNICO

En esta sección se lleva a cabo el diseño mecánico del reactor químico de producción de isooctano a partir de la fracción C<sub>4</sub> del petróleo. Este equipo constituye el principal objeto de estudio del proyecto, motivo por el cual se lleva a cabo un análisis y diseño detallado.

### 1.4.1. INTRODUCCIÓN

Llevar a cabo el diseño mecánico de una unidad implica realizar un estudio sobre las tensiones a las que se somete el equipo y los requisitos imprescindibles para soportar estos esfuerzos, tanto a nivel de material de construcción como de medidas de seguridad necesarias ejemplificadas en espesores y soportes. Para establecer estos parámetros se precisa conocer datos como las condiciones de operación del reactor, las propiedades de los compuestos que se introducen así como los que se producen y el peso de caudales, elementos internos y del propio equipo.

El equipo a estudiar se diseña mecánicamente como un recipiente a presión utilizando para ello el estándar *ASME Boiler and Pressure Vessel Code* (código ASME).

### 1.4.2. TIPO DE RECIPIENTE

La influencia de la disposición del recipiente es notoria por cuestiones de resistencia a las fallas de corte o a la flexión, así como el diseño del soporte necesario. Generalmente, los tanques se orientan en función del volumen que contienen y de la necesidad del área de contacto líquido-vapor en el caso de que existiese intercambio de materia entre las dos fases. Si se precisa el almacenamiento de grandes volúmenes a bajo coste se utilizan tanques cilíndricos verticales mientras que, si el objetivo es una gran superficie de interfase líquido-vapor, se opta por un tanque con disposición horizontal, así como el requerimiento de una presión interna elevada (Sinnott, 2005).

Por tanto, a la hora de la selección de la orientación de los tanques se analizan los parámetros de volumen siguiendo la Tabla 1.23 y la superficie de contacto necesaria entre fases.

Tabla 1.23: Orientación de tanques según su volumen

Volumen (m <sup>3</sup> )	Disposición
< 4	Vertical
4 - 40	Horizontal
> 40	Vertical

### 1.4.3. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Los parámetros de operación más influyentes a valorar en el diseño de un recipiente son la temperatura y la presión máxima que se puede alcanzar durante la vida operativa del equipo.

En primer lugar, respecto a la temperatura, comentar que la resistencia de los metales, materiales de construcción ampliamente utilizados, decrece a medida que ésta aumenta, por lo tanto es necesario contemplar la temperatura máxima de operación a la hora de la selección del material. Según el código ASME BPV Sec. VIII D.1, el valor que se considera para el diseño mecánico es la temperatura máxima a la que se puede encontrar ese material durante su vida operativa, momento en que el que su resistencia adquiere el valor más bajo y se presentan mayores problemas. Este valor se obtiene por sobredimensión de 10°C del valor de operación (Sinnot, 2005).

En segundo lugar, es necesario valorar la presión, que posee una relevancia destacada a la hora de la selección del espesor requerido de pared del equipo. Si es un recipiente sometido a presión externa, el valor a considerar es la máxima diferencia de presión entre la cara interna y externa que se produce en el equipo durante su funcionamiento. En cambio, si se encuentra sometido a presión interna, se debe considerar el valor de diseño de ésta como el punto de consigna de los elementos de control de presión del recipiente. Este valor se encuentra en torno al valor de la presión manométrica de operación con un 10% de margen valorando las posibles fluctuaciones de menor relevancia que se pueden producir durante el proceso.

### 1.4.4. SELECCIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Tras analizar las condiciones de operación a las que se somete un recipiente durante su vida operativa, es necesario seleccionar el material de construcción óptimo. Con ello, se dota de seguridad a una instalación química y se reducen los costes de mantenimiento.

En la gran mayoría de las plantas industriales, las condiciones de temperatura no se presentan drásticas, siendo el acero, así como otras aleaciones metálicas y los plásticos reforzados, los materiales más utilizados en la industria para la construcción de los recipientes. Este factor, unido a la presión de operación y a la presencia o inexistencia de compuestos reaccionantes con el material elegido, permiten la selección de un grupo de materiales útiles para la construcción del equipo. Analizando el coste, la seguridad del proceso y cuestiones medioambientales se obtiene el óptimo (Sinnot, 2005).

#### 1.4.5. SELECCIÓN DE LA CARCASA Y CÁLCULO DEL ESPESOR

En función de la aplicación, el recipiente puede poseer forma cilíndrica o esférica. Este último tipo posee utilidad destacada en aquellos casos en los que la presión interna es elevada mientras que para la mayoría de las aplicaciones industriales, los tanques poseen una geometría cilíndrica (Sinnot, 2005).

En primer lugar, comentar la posibilidad de que el tanque cilíndrico se encuentre a presión atmosférica, por lo que el efecto de la presión hidrostática del líquido adquiere una relevancia mayor y se convierte en la carga principal para el diseño, factor que sólo se valora en tanques sometidos a presión si el volumen es destacado. El espesor mínimo del recipiente se calcula con la ecuación (1.38).

$$t = \frac{\rho_L H_L g D_i}{2ES} \quad (1.38)$$

Donde:

- $t$  es el espesor mínimo requerido, (m).
- $\rho_L$  se corresponde con la densidad del fluido contenido en el recipiente, (kg/m<sup>3</sup>).
- $H_L$  es la altura de dicho líquido en el tanque, (m).
- $g$  es la aceleración de la gravedad, (m/s<sup>2</sup>).
- $D_i$  es el diámetro del recipiente, (m).
- $E$  es la eficiencia de la soldadura.
- $S$  es el esfuerzo máximo permisible por el material, (Pa).

En caso contrario, es decir, cuando la presión interna no se corresponde con la atmosférica, es necesario introducir este parámetro en la ecuación. Si es necesaria la geometría esférica, se establece el espesor mínimo requerido por la tensión circunferencial por medio de la ecuación (1.39)

$$t = \frac{P_i D_i}{4SE - 1,2P_i} \quad (1.39)$$

Donde el nuevo parámetro introducido,  $P_i$ , se corresponde con la presión interna (Pa).

Sin embargo, la geometría cilíndrica, presenta dos tensiones claramente diferenciadas, motivo que propicia el cálculo de dos espesores. Por un lado, el necesario para soportar la tensión circunferencial, expresado en la ecuación (1.40) y, por otro, el requerido para la tensión longitudinal, descrito en la ecuación (1.41) (Sinnot, 2005).

$$t_{\text{circunferencial}} = \frac{P_i D_i}{2SE - 1,2P_i} \quad (1.40)$$

$$t_{\text{longitudinal}} = \frac{P_i D_i}{4SE - 0,8P_i} \quad (1.41)$$

Tras calcular ambos, se toma el valor más elevado como espesor mínimo requerido siguiendo el código ASME BPV. Se analizan a continuación las variables influyentes en la determinación del espesor.

#### 1.4.5.1. PRESIÓN DE DISEÑO

Este valor se corresponde con la presión manométrica de operación sobredimensionada, como se indicó anteriormente. Para ello, se toma el valor de consigna de los elementos de control encargados de aliviar el equipo en el caso de un exceso de presión en el recipiente. Este parámetro se fija en torno al 10% superior de la presión manométrica de operación, permitiendo un margen al sistema de control para evitar trabajo innecesario de la válvula en el caso de fluctuaciones de escasa relevancia durante el proceso. Su relación directamente proporcional con respecto al espesor requerido es lógica debido a la mayor resistencia que debe soportar el material a medida que la presión aumenta.

#### 1.4.5.2. ESFUERZO MÁXIMO PERMISIBLE

Este parámetro es función del tipo de material utilizado para la construcción del equipo y la temperatura máxima a la que se ve sometido durante su periodo operativo. El Código ASME establece valores a usar en función de las variables comentadas para el diseño detallado de recipientes. Se presenta en la Tabla 1.24 los valores del esfuerzo máximo permisible para los materiales más utilizados en la construcción de equipos en un amplio rango de temperatura. Comentar también que la temperatura a la que se debe tomar este valor se corresponde con el valor de operación de operación sobredimensionada, aproximadamente, 50°F. La relación con el espesor requerido es inversamente proporcional puesto que si el material resiste un esfuerzo mayor precisa menor espesor.

Tabla 1.24: Esfuerzo máximo permisible para diferentes aceros en función de la temperatura

Material	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Design stress at temperature °C (N/mm <sup>2</sup> )									
		0 to 50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Carbon steel (semi-killed or silicon killed)	360	135	125	115	105	95	85	80	70		
Carbon-manganese steel (semi-killed or silicon killed)	460	180	170	150	140	130	115	105	100		
Carbon-molybdenum steel, 0.5 per cent Mo	450	180	170	145	140	130	120	110	110		
Low alloy steel (Ni, Cr, Mo, V)	550	240	240	240	240	240	235	230	220	190	170
Stainless steel 18Cr/8Ni unstabilised (304)	510	165	145	130	115	110	105	100	100	95	90
Stainless steel 18Cr/8Ni Ti stabilised (321)	540	165	150	140	135	130	130	125	120	120	115
Stainless steel 18Cr/8Ni Mo 2½ per cent (316)	520	175	150	135	120	115	110	105	105	100	95

#### 1.4.5.3. EFICIENCIA DE LA SOLDADURA

En función del tipo de unión y la calidad que presenta la soldadura del equipo, la resistencia de la misma varía. El Código ASME BPV Sec. VIII D.1 hace una distinción entre grados de soldadura, presentadas sus eficiencias en la Tabla 1.25 y cuya categoría se comprueba por inspección visual o mediante radiografías.

Tabla 1.25. Eficiencia de la soldadura según su tipo y la inspección realizada.

Tipo de soldadura	Categoría de la unión	Grado de examen radiográfico		
		Completo	Puntual	Ninguno
<b>Doble o equivalente</b>	<b>A, B, C, D</b>	1,00	0,85	0,70
<b>Única con tira de apoyo</b>	<b>A, B, C, D</b>	0,9	0,8	0,65
<b>Única sin tira de apoyo</b>	<b>A, B, C</b>	-	-	0,6

En el caso de la soldadura doble con la unión a tope se considera tan fuerte como la de la propia placa virgen. El problema que presenta esta opción es el coste, por lo que, en función de la relevancia del recipiente y su contenido interno, es necesario hacer un análisis y seleccionar la eficiencia de soldadura óptima. Es obvia la relación inversamente proporcional de la soldadura con respecto al espesor puesto que cuenta mejor sea la primera, menor requerimiento se necesita del segundo (Sinnot, 2005).

#### 1.4.6. ESPESOR POR CORROSIÓN

Durante la vida operativa del equipo, el fluir de los compuestos erosiona las paredes del recipiente internamente al igual que lo hace el aire externamente. Por ello, y siguiendo el Código ASME BPV, se debe especificar la tolerancia del recipiente a la corrosión y dotarlo de un espesor extra, el cual es el encargado de evitar problemas por corrosión.

Este parámetro es difícil de analizar y no existen normas específicas para su estimación, por lo que se utiliza la experiencia en condiciones similares y se llevan a cabo inspecciones frecuentes de los equipos con técnicas como ultrasonidos para analizar el desgaste progresivo (Sinnot, 2005).

Para condiciones estándar se utiliza un espesor extra de 2 mm que se le añade al necesario mientras que si se presentan condiciones drásticas como utilización de un ácido fuerte, esta corrosión se ve favorecida, duplicando el espesor extra. En cualquier caso, el valor de sobreespesor nunca debe ser menor a 1 mm (Sinnot, 2005).

Se presenta en la Tabla 1.26 el espesor mínimo de un tanque en función de su capacidad y orientación. Por tanto, si la suma del espesor necesario por las condiciones de operación y el sobreespesor no iguala o excede el valor correspondiente de la tabla, se toma este último.

Tabla 1.26: Espesor mínimo de un tanque según su capacidad y orientación. Fuente: Underwriters Laboratory, 1984

Tanque horizontales						
Capacidad de agua (L)	Diámetro máximo (mm)	Espesor mínimo (mm)				
		Acero al carbono			Acero inoxidable	
1.800	1.219,2	2,36			1,80	
2.000-4.000	1.625,6	3,12			2,18	
4.000-34.000	1.930,4	4,24			2,92	
34.000-132.500	3.657,6	6,09			4,01	
132.501-189.250	3.657,6	6,27			6,09	
Tanques verticales						
Capacidad de agua (L)	Espesor mínimo (mm)					
	Acero al carbono			Acero inoxidable		
	Carcasa	Fondo	Parte superior	Carcasa	Fondo	Parte superior
< 4000	2,36	2,36	2,18	2,36	2,18	2,18
> 4000	4,24	6,09	2,92	3,12	4,01	0,86

Finalmente, explicar que está establecido un espesor mínimo de pared que se considera suficientemente rígido como para soportar el peso del propio recipiente y las cargas adicionales en función de su diámetro. Esto se presenta en la Tabla 1.27.

Tabla 1.27: Espesor mínimo de un recipiente. Fuente: (Sinnott, 2005).

<b>Diámetro del recipiente (m)</b>	<b>Espesor mínimo (mm)</b>
< 1,0	5
1,0 - 2,0	7
2,0 - 2,5	9
2,5 - 3,0	10
3,0 - 3,5	12

Por tanto, si el valor calculado es inferior al establecido en la Tabla 1.27, se toma este límite inferior como espesor del recipiente.



### 1.4.7. SELECCIÓN DE LOS CABEZALES

Se define como cabezal a la cubierta con la que se cierra tanto la zona superior como inferior de un recipiente cilíndrico, la cual puede ser fija, tras soldarla, o extraíble. Esta última opción presenta una mayor facilidad en el mantenimiento pero un mayor coste y complejidad de diseño. Los cabezales más utilizados en la industria difieren principalmente en la presión que soportan, valor que es proporcional a su coste, y son el plano, el elíptico, el torisférico y el hemisférico, por orden creciente de la misma (Sinnot, 2005).

#### 1.4.7.1 CABEZAL PLANO

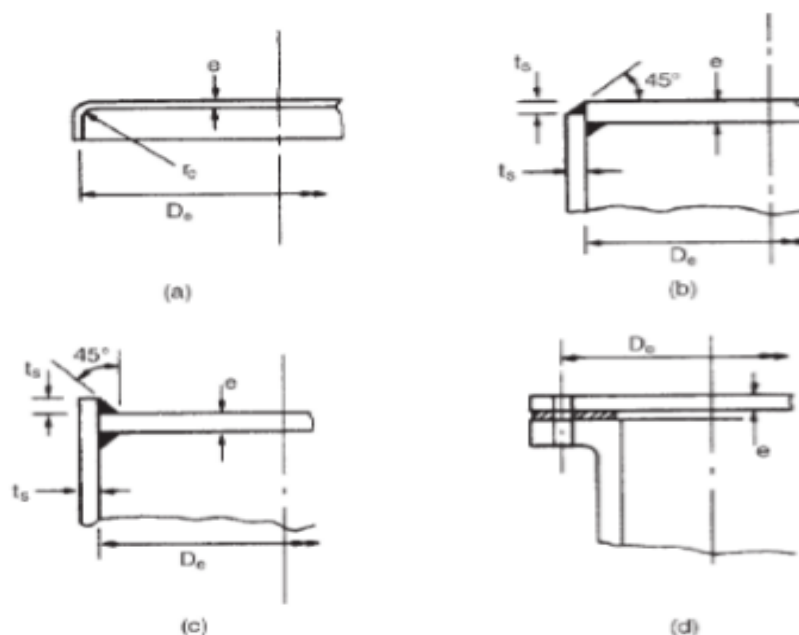


Figura 1.10: Cabezales planos. Fuente: (Sinnot, 2005).

Es el cabezal más económico de los cuatro pero sus aplicaciones son reducidas por motivo de sus terminaciones poco eficientes, motivo que obliga a un aumento del grosor considerable. El código ASME BPV establece que el espesor mínimo requerido por un cabezal plano viene determinado por la ecuación (1.42).

$$t = D_e \sqrt{\frac{C P_i}{S E}} \quad (1.42)$$

Donde  $t$  es el espesor mínimo del cabezal (m),  $D_e$  es el diámetro equivalente (m),  $P_i$  la presión interna (Pa),  $S$  el esfuerzo máximo permisible (Pa),  $E$  la eficiencia de la soldadura y  $C$  una constante de diseño que el propio Código ASME proporciona.

#### 1.4.7.2 CABEZAL ELÍPTICO

En relación con el hemisférico, es más barato, presenta un volumen menor y soporta una presión interna también menor, inferior a 15 bares. La relación entre los ejes es de 2:1 y el espesor, similar al calculado para la carcasa si es cilíndrica, se obtiene, siguiendo el Código ASME BPV Code Sec. VIII D 1 con la ecuación (1.43).

$$t = \frac{P_i D_i}{2SE - 0,2P_i} \quad (1.43)$$

Donde t es el espesor mínimo del cabezal (m),  $D_i$  es el diámetro interno (m),  $P_i$  la presión interna (Pa), S el esfuerzo máximo permisible (Pa) y E la eficiencia de la soldadura. Su estructura se representa en la Figura 1.11.b.

#### 1.4.7.3 CABEZAL TORISFÉRICO

Presenta similitudes con el elíptico en las presiones que soporta pero diverge con él en la estructura, pues presenta una relación entre ejes de, aproximadamente, 3:1. Su geometría le proporciona un mayor uso en la industria al ser más fácil de fabricar. Su aplicación es ampliamente destacada para recipientes sometidos a menos de 15 bares al ser más barato que el elíptico a baja presión y semejante a presión próxima al valor límite. Presenta dos uniones, una entre el cilindro y el cabezal y otra entre la corona y los radios de las articulaciones por lo que el estudio del espesor mínimo debe centrarse en las tensiones en estos puntos. La ecuación (1.44) permite el cálculo de este espesor y la estructura se presenta en la Figura 1.11.c.

$$t = \frac{0,885 P_i R_c}{SE - 0,1P_i} \quad (1.44)$$

Donde t es el espesor mínimo del cabezal (m),  $P_i$  la presión interna (Pa),  $R_c$  se corresponde con el radio de la corona (m), S el esfuerzo máximo permisible (Pa) y E la eficiencia de la soldadura.

#### 1.4.7.4. CABEZAL HEMISFÉRICO

Es el cabezal por excelencia para presiones elevadas, superiores a 15 bares, llegando a soportar, con el mismo espesor, el doble de presión que el torisférico. La desventaja que posee es el coste, mayor que el resto de alternativas por lo que sólo se utiliza si es necesario. Su relación entre ejes, de 1:1, le proporciona mayor volumen que los demás, con la consecuente resistencia también mayor. Su espesor se establece en un valor correspondiente a la mitad del espesor de la carcasa y su estructura del mismo se presenta en la Figura 1.11.a.

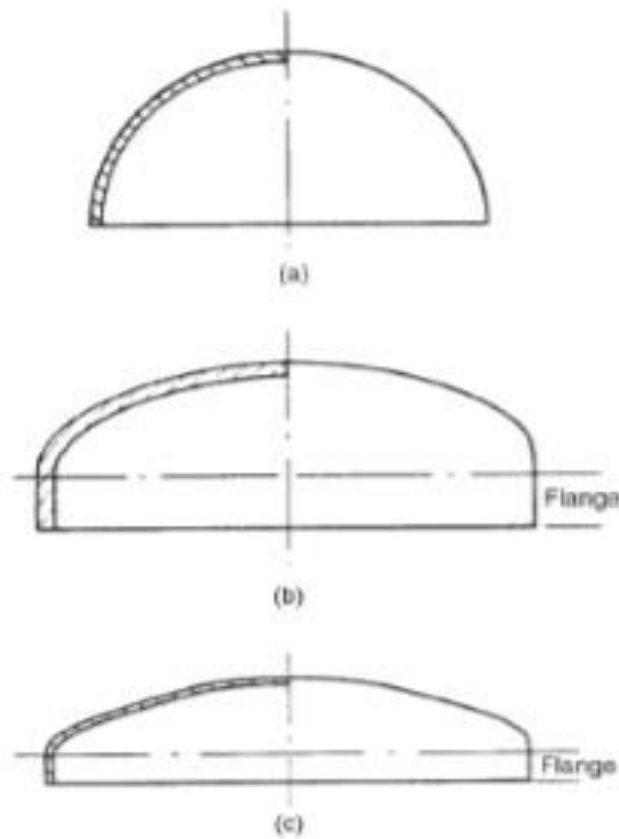


Figura 1.11: Cabezal. (a)hemisférico. (b)elíptico. (c)torisférico.

Fuente: (Sinnott, 2005)

Como conclusión de la sección de cabezales, se presenta, en la Tabla 1.28, la relación entre el diámetro y las dimensiones más destacadas de cada alternativa.

Tabla 1.28: Dimensiones del cabezal. Fuente: (Sinnott, 2005)

Cabezal	Torisférico	Elíptico	Hemisférico
Volumen (m <sup>3</sup> )	0,08089 D <sup>3</sup>	0,13075 D <sup>3</sup>	0,26103 D <sup>3</sup>
Área (m <sup>2</sup> )	0,931 D <sub>0</sub> <sup>2</sup>	1,08 D <sub>0</sub> <sup>2</sup>	1,57 D <sub>0</sub> <sup>2</sup>
Altura (m)	0,169 D	0,25 D	0,5 D

#### 1.4.8. PESO DEL RECIPIENTE

En el caso de recipientes de elevado volumen que se encuentran a bajas presiones, es necesario valorar si el espesor es suficiente para soportar también la tensión ejercida por el peso, el cual se determina con la ecuación (1.45).

$$W_v = \rho_m g \pi C_w D_m (H_v + 0,8 D_m) t \cdot 10^{-3} \quad (1.45)$$

Donde:

- $W_v$  = peso total de la carcasa, excluyendo los accesorios internos destacados como tales como los platos de una columna, (N).
- $\rho_m$  = densidad del material de construcción, (kg/m<sup>3</sup>).
- $g$  = aceleración de la gravedad, (m/s<sup>2</sup>).
- $C_w$  = factor que toma el valor de 1,08 o 1,12 según presente pocos o muchos elementos internos, respectivamente, de pequeño peso tales como deflectores o láminas.
- $D_m$  = suma del diámetro del tanque y de su espesor, (m).
- $H_v$  = longitud de la sección cilíndrica, (m).
- $t$  = espesor de la carcasa, (mm).

Para la mayoría de los equipos industriales, el acero es el elemento más utilizado en su construcción. Por tal motivo, la fórmula anterior se convierte en la presentada en la ecuación (1.46).

$$W_v = 240 C_w D_m (H_v + 0,8 D_m) t \quad (1.46)$$

#### 1.4.9. SOPORTE

La estructura encargada de elevar sobre el suelo los recipientes depende de la orientación de los mismos, así como del tamaño, la forma y el peso de éstos. Además, también es necesario valorar las condiciones de diseño, siendo éstas la temperatura y la presión y los elementos internos presentes en el equipo tales como agitadores, deflectores, láminas separadoras o extractores de humedad, entre otros.

Por una parte, los recipientes horizontales se sujetan sobre dos soportes tipo silla, como se ilustra en la figura Figura 1.12, considerando el equipo como una viga sencilla apoyada, donde el máximo esfuerzo se encuentra en la mitad y en los extremos del recipiente por flexión.

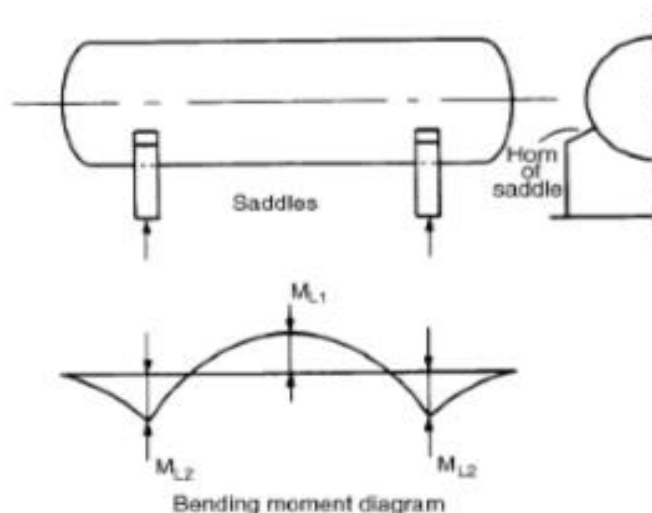


Figura 1.12. Tanque con soporte tipo silla. Fuente: (Walas, 1990)

En cambio, para los recipientes verticales, como el caso de una columna, se utiliza un soporte tipo falda, presentado en la Figura 1.13 que consiste en una carcasa cónica o cilíndrica que se encuentra soldada a la base del recipiente y una brida en el fondo de la misma transmite la carga a los cimientos.

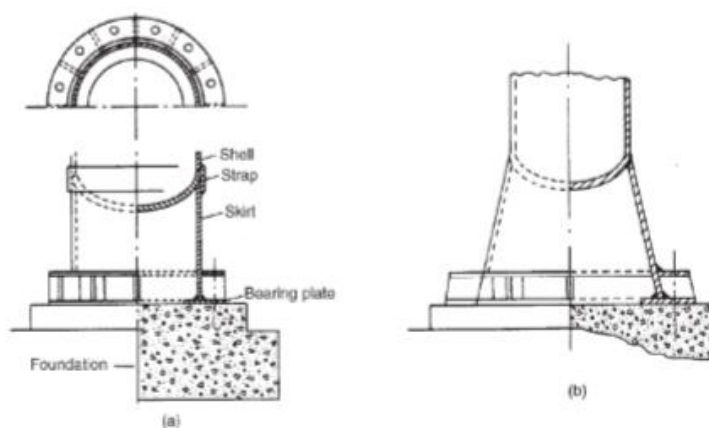


Figura 1.13. Soporte de tanque tipo falda para recipientes verticales.

Fuente: (Sinnot, 2005)

Por último, citar las abrazaderas o asas que se usan para todo tipo de recipientes. Tanto este tipo de soporte como los anteriores, o cualquier otro, deben diseñarse para aguantar el peso del recipiente, su contenido y cualquier otra carga adicional ejemplificada en el viento. También deben presentar una estructura que facilite el acceso al equipo y sus elementos tales como instrumentos de control para facilitar su mantenimiento. Es imprescindible considerar en la elección del soporte más adecuado, finalmente, el coste del mismo y la geología del terreno.

#### 1.4.10. CIMIENTOS

El cimiento sobre el que descansa el soporte se elige atendiendo al tamaño del recipiente que se dispone. En función del mismo cabe contemplar tres posibilidades.

- Hormigón: Utilizado para pequeños tanques debido a su fragilidad y la posibilidad de fracturarse dañando el tanque.
- Material compacto: Alternativa flexible y con capacidad de absorción de pequeños asientos del terreno.
- Geotextil: Cimiento poroso compuesto por una lámina de polietileno y una capa de brea con el objetivo de impermeabilizar la parte inferior del tanque.

#### 1.4.11. ACCESORIOS

Entre los accesorios más destacados de un recipiente se encuentran las boquillas. Un recipiente existente en una instalación industrial presenta un número destacado de boquillas en su estructura. Además de las simples entradas y salidas de los compuestos, es necesaria la presencia de conexiones para la instrumentación de control. Complementando la seguridad con estos equipos, se encuentran las válvulas de alivio para el venteo de parte de los compuestos en el caso de una presión excesiva o la formación de vacío. Por último citar la existencia de boquillas para mantenimiento de los elementos internos y soportes ejemplificando los mismos con las bocas de hombre.

Comentar finalmente la existencia de otros accesorios como pueden ser las barandillas de seguridad para el acceso a la parte superior de los recipientes y los cubetos de retención para la contención del posible derrame de los líquidos presentes en su interior.

## **1.5. DISEÑO MECÁNICO DEL REACTOR R-201**

Se procede al diseño mecánico del reactor cuyo objetivo es la producción de isooctano a partir de la fracción C<sub>4</sub> del petróleo con ácido sulfúrico como catalizador.

### **1.5.1. TIPO DE RECIPIENTE**

El reactor diseñado presenta orientación horizontal debido a la serie de ventajas que presenta con respecto a la disposición vertical. La estructura se resume en tres reactores de tanque agitado dispuestos en serie. Debido a los resultados obtenidos con tres tanques, el reactor resultante se encuentra intermedio entre flujo pistón y tanque agitado, aunque más próximo a este último. De esta manera, reactivos, productos e inertes avanzan de un compartimento a otro hasta obtenerse, tras el último, la corriente de productos que se dirige a la zona de separación, al igual que la resultante de la autorrefrigeración del reactor en estado vapor.

Aun así, los tres tanques pueden disponerse en una estructura vertical u horizontal separados, en ambos casos, por láminas. La decisión de la disposición horizontal se basa en la fuerte agitación que precisan los hidrocarburos y el ácido para su completa miscibilidad, tarea que presenta mayor estabilidad con varios agitadores dispuestos en el centro de cada compartimento en una estructura horizontal. Además, el efecto del viento es considerablemente menor para esta disposición. Otro motivo reside en la extracción del vapor formado durante la reacción, más sencillo de llevar a cabo por la parte superior de cada uno de los tanques en un reactor horizontal. Finalmente, comentar la geometría interna. En el caso de una estructura vertical, la alimentación fraccionada del reactivo limitante en una zona lejana a la salida, la eliminación del vapor, la localización del agitador y el paso del fluido entre compartimentos se facilita en la estructura horizontal según se presenta en la Figura 1.9.

Comentar también que la orientación de cada tanque se ve favorecida según la Tabla 1.23 con una disposición horizontal al tratarse de compartimentos de 35 m<sup>3</sup>. Se puede considerar la utilización de tres reactores de tanque agitado independientes en serie con orientación vertical pero el criterio económico determina que esta opción no es la óptima y el control del equipo se lleva a cabo satisfactoriamente en la disposición horizontal separando los compartimentos por láminas.

### 1.5.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Tras lo presentado anteriormente, se establecen las condiciones de operación para el diseño mecánico del reactor.

En primer lugar, valorando la temperatura de las corrientes de entrada al reactor, la autorefrigeración y los sistemas de control establecidos, el material de construcción del equipo debe soportar los 30°C, resultantes de los 19,5°C de reacción y el sobredimensionamiento. Además, para el cálculo del espesor, se debe establecer la tensión máxima permisible del material seleccionado a esta temperatura. Comentar que la temperatura de reacción próxima a la atmosférica permite evitar el recubrimiento del reactor con un aislante. El motivo radica en que, en los casos más desfavorables, la temperatura alcanza valores de 5 o 35°C, respectivamente, y el calor intercambiado con el ambiente se puede despreciar. Esto se comprueba en la sección de *Aislante*.

En segundo lugar, la presión del reactor se establece en 3 bares en el primer compartimento, el correspondiente para mantener el caudal deseado de reactivos y productos en estado de líquido saturado a 19,5°C para, una vez absorbido el calor de reacción, evaporarse una fracción de la mezcla para mantener la temperatura constante. Se toma el mismo valor para los demás uniformizando así el espesor de todo el recipiente. Recordar que la presión tomada para el cálculo del espesor es la manométrica sobredimensionada un 10%, siendo, en esta ocasión, de  $2,2 \cdot 10^5$  Pa.

### 1.5.3. SELECCIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Con el objetivo de la determinación del material óptimo para la construcción del reactor se lleva a cabo un pequeño análisis de las circunstancias que lo rodean.

Para comenzar, se concreta la finalidad del reactor en servir como recipiente para el desarrollo de la alquilación de isoparafinas con olefinas, hidrocarburos con una reactividad baja. Más condicionante es el catalizador utilizado, el ácido sulfúrico, compuesto extremadamente corrosivo en las concentraciones en las que se encuentra en el recipiente. Por tanto, se establece como requerimiento no negociable la condición de inerte del material de construcción frente a este ácido, así como de los hidrocarburos principales presentes y los posibles productos de reacciones secundarias.

Una vez cumplido este objetivo, se pretende minimizar el coste del material. Para ello, teniendo en cuenta que las condiciones de operación están fijadas y el esfuerzo máximo a soportar se encuentra limitado según el material, se establece como objetivo la minimización de la masa del material a utilizar. Por tanto, se observan en la Figura 1.14 aquellos materiales con una relación elevada entre el límite elástico y la densidad.



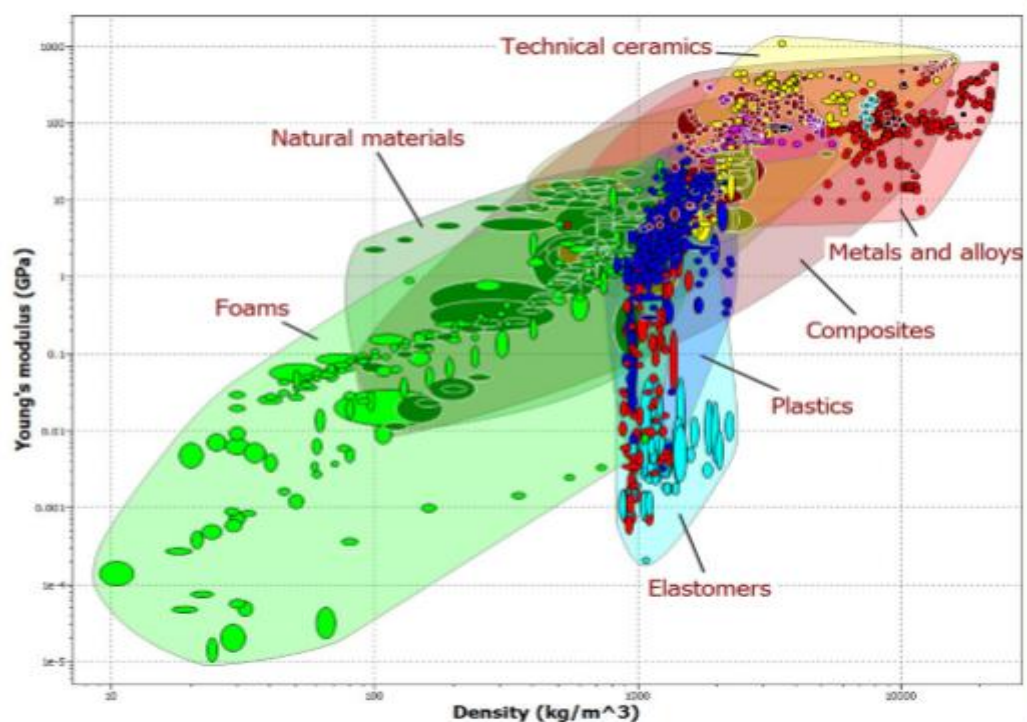


Figura 1.14: Módulo elástico de materiales en función de su densidad. Fuente: (Ashby, 2009)

Se aprecia que los materiales que presentan el módulo  $M$  mayor, definido como el cociente mencionado anteriormente, son los metales y sus aleaciones así como ciertas cerámicas.

Finalmente, se presenta la Figura 1.15 con el objetivo a optimizar, el del coste de los materiales.

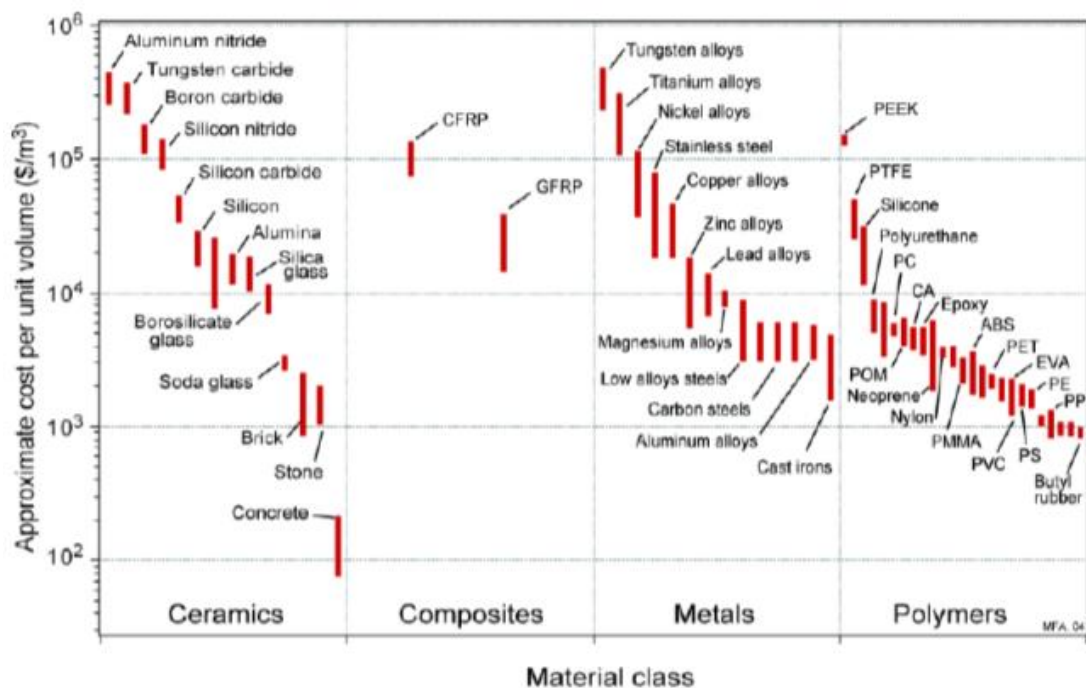


Figura 1.15: Coste por unidad de materiales de construcción. Fuente: (Ashby, 2009)

Por tanto, atendiendo a la reactividad de los compuestos, a la Figura 1.14 y a la Figura 1.15 se concluye con que el material de construcción óptimo para el reactor es el acero inoxidable, grado 316. Además, este tipo de material se utiliza ampliamente en la industria, lo que favorece la gran variedad de alternativas en su construcción. Entre las opciones existentes, el montaje del reactor se lleva a cabo mediante soldadura doble con inspección puntual porque posee una eficacia elevada del 0,85 y no presenta un coste excesivo.

#### 1.5.4. SELECCIÓN DE LA CARCASA Y CÁLCULO DEL ESPESOR

La presión de operación no es tan elevada como para necesitar recipientes esféricos por lo que la carcasa es cilíndrica y la disposición horizontal compuesta por cuatro compartimentos. Se presenta en la Tabla 1.29 los parámetros influyentes en el cálculo del espesor, así como el valor del mismo según las ecuaciones (1.40) y (1.41). La tensión máxima permisible se obtiene de la Tabla 1.24.

Tabla 1.29. Cálculo del espesor de la carcasa

Parámetro	Valor
Temperatura de diseño (°C)	30
Presión de diseño (Pa)	$2,2 \cdot 10^5$
Diámetro del tanque (m)	3,50
Material de construcción	Acero inox. Gr. 316
Tensión máxima permisible (Pa)	$1,75 \cdot 10^8$
Eficiencia de la soldadura	0,85
$t_{\text{circunferencial}}$ (mm)	2,71
$t_{\text{radial}}$ (mm)	1,35
$t_{\text{corrosión}}$ (mm)	4,00
$t_{\text{final}}$ (mm)	6,71

Este valor cumple con lo establecido, correspondiente al acero inoxidable, en la Tabla 1.26 pero no los requerimientos de la Tabla 1.27 que establece que, para un tanque de ese diámetro, el espesor mínimo debe ser de 12 mm. Se toma, por tanto, este valor para el espesor de la carcasa y se valora el efecto del peso del equipo, importante en esta ocasión por la baja presión y el elevado volumen.

En primer lugar, se determina el esfuerzo ejercido por este factor, según la ecuación (1.47), el cual se suma al esfuerzo longitudinal resultante de la presión interna, determinado con la (1.48).

$$\sigma_w = \frac{W}{\pi (D_i + t) t} \quad (1.47)$$

$$\sigma_L = \frac{P D_i}{4t} \quad (1.48)$$

Donde  $\sigma_w$  es la tensión originada por el peso (kPa),  $\sigma_L$  la longitudinal provocada por la presión (kPa), W el peso del equipo (kN),  $D_i$  el diámetro interno (m), t el espesor (m) y P la presión interna a la que se somete (kPa).

El esfuerzo total debe ser inferior al determinado con la ecuación (1.49) para aceptar el valor del espesor.

$$\sigma_c = 2 \cdot 10^4 \left( \frac{t}{D_o} \right) \quad (1.49)$$

Donde  $\sigma_c$  es la tensión total soportada por compresión (kPa), t el espesor (m) y  $D_o$  el diámetro externo (m). Se presenta en la Tabla 1.30 los resultados que permiten verificar el diseño.

Tabla 1.30. Comprobación del espesor de la carcasa

Parámetro	Valor
<b>Diámetro interno (m)</b>	3,50
<b>Espesor (mm)</b>	12,00
<b>Peso del equipo (kN)</b>	251,38
$\sigma_w$ (MPa)	1,90
$\sigma_L$ (kPa)	16,77
$\sigma_c$ (kPa)	68,10

Se detalla el cálculo del peso del equipo en la sección *Peso del recipiente*, presentada posteriormente.

### 1.5.5. SELECCIÓN DE LOS CABEZALES

Tras la breve explicación de las alternativas más destacadas que existen en el mercado, la selección más apropiada reside en la utilización de cabezales torisféricos. El cabezal plano exige un espesor elevado, el hemisférico presenta mayor utilidad para presiones superiores a 15 bares y el elíptico posee un coste mayor para presiones bajas, como la de esta ocasión.

El esquema del cabezal seleccionado se presenta en la Figura 1.16.

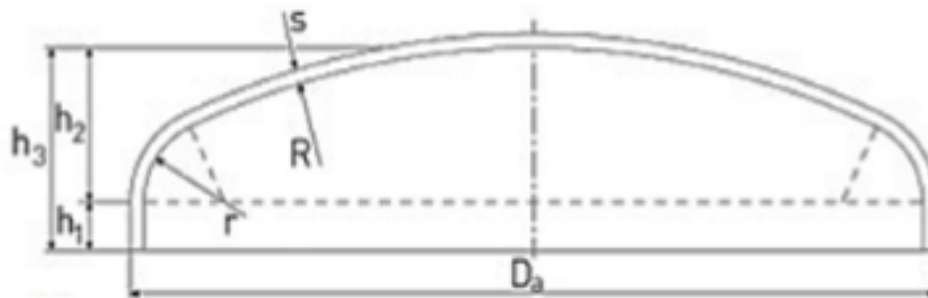


Figura 1.16: Estructura y parámetros del cabezal torisférico. Fuente: (Sinnot, 2005)

Los parámetros se calculan con las ecuaciones (1.50) a (1.55)

$$r = 0,1 D_a \quad (1.50)$$

$$R = R_c = D_a \quad (1.51)$$

$$h_1 = 3,5 t \quad (1.52)$$

$$h_2 = 0,1935 D_a - 0,455 t \quad (1.53)$$

$$h_3 = h_1 + h_2 \quad (1.54)$$

$$h_{total} = h_{cilindro} + 2h_3 \quad (1.55)$$

Se presenta en la Tabla 1.31 el valor de estos parámetros, el volumen correspondiente según la Tabla 1.28 y el espesor calculado con la ecuación (1.44).

Tabla 1.31. Dimensiones del cabezal

Parámetro	Valor
<b>Tipo de cabezal</b>	Toriférico
<b>t<sub>diseño</sub> (mm)</b>	4,80
<b>t<sub>corrosión</sub> (mm)</b>	4,00
<b>t<sub>cabezal</sub> (mm)</b>	8,80
<b>r (m)</b>	0,35
<b>R (m)</b>	3,50
<b>h<sub>1</sub> (mm)</b>	42,00
<b>h<sub>2</sub> (mm)</b>	671,79
<b>h<sub>3</sub> (mm)</b>	713,79
<b>h<sub>cilindro</sub> (m)</b>	19,43
<b>V<sub>cabezal</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	3,47

Para el cálculo del espesor se han utilizado los mismos valores de diámetro, presión interna, eficiencia de la soldadura y esfuerzo máximo permisible que para la carcasa. Debido al resultado inferior a los 12 mm de la carcasa se decide tomar este último valor para uniformizar el espesor de todo el recipiente.

### 1.5.6. PESO DEL RECIPIENTE

Se presenta en la Tabla 1.32 los parámetros utilizados para el cálculo del peso del recipiente así como el valor obtenido del mismo tras la resolución de la ecuación (1.46)

Tabla 1.32. Cálculo del peso del recipiente

Parámetro	Valor
<b>Factor, <math>C_w</math></b>	1,08
<b>Longitud, <math>H_v</math> (m)</b>	19,43
<b>Gravedad, <math>g</math> (m/s<sup>2</sup>)</b>	9,81
<b>Diámetro medio, <math>D_m</math> (m)</b>	3,62
<b>Espesor, <math>t</math> (mm)</b>	12,00
<b>Peso, <math>W_v</math> (kN)</b>	251,38
<b>Masa, <math>W_v</math> (t)</b>	25,62

Para terminar el diseño mecánico, comentar los soportes tipo silla, utilizado para sostener equipos con disposición horizontal y, en esta ocasión, debido a la longitud elevada, la necesidad de dos sillas intermedias. Además, el cimienta es de material compacto por su flexibilidad y capacidad de soportar tanques de gran tamaño. Por su parte, los elementos internos se resumen en tres agitadores y cuatro láminas para separar compartimentos. En cambio, en lo que respecta a las boquillas, comentar la existencia de cinco entradas, de reactivos y catalizador, y cinco salidas, de las cuales tres son para las corrientes gaseosas, una para los hidrocarburos líquidos y otra para el catalizador. También boquillas para la instrumentación y el control, destacando el sistema de seguridad de venteo para evitar un aumento de la presión en el reactor.

### 1.5.7. AISLANTE

A continuación se procede a analizar si el reactor precisa de un aislante. Para ello se comprueba el calor transferido por al aire considerando flujo por convección forzada por el exterior de un cilindro. Para la determinación del coeficiente de convección según la ecuación (1.56) se precisa, primeramente, el número de Nusselt, que se resuelve la ecuación (1.57) (Incropera, y otros, 1999) (Çengel, 2007)

$$h_{aire} = \frac{kNu}{D} \quad (1.56)$$

Donde  $h_{aire}$  es el coeficiente de convección del aire (W/m<sup>2</sup>.K),  $k$  es la conductividad del fluido (W/m<sup>2</sup>.K),  $Nu$  el número de Nusselt y  $D$  el diámetro (m).

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62Re^{\frac{1}{2}}Pr^{\frac{1}{3}}}{\left(1 + (0,4/Pr)^{\frac{2}{3}}\right)^{\frac{1}{4}}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{1}{4}} \quad (1.57)$$

Donde  $Nu$  es el número de Nusselt,  $Re$  el número de Reynolds, determinado con la ecuación (1.58) y  $Pr$  el número de Prant, calculado con la ecuación (1.59).

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (1.58)$$

Donde  $Re$  es número de Reynolds,  $\rho$  es la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ),  $D$  el diámetro (m),  $v$  la velocidad del fluido (m/s) y  $\mu$  su viscosidad (Pa.s).

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k_f} \quad (1.59)$$

Donde  $Pr$  es el número de Prant,  $C_p$  el calor específico ( $\text{J/kg.K}$ ) y  $k_f$  la conductividad térmica ( $\text{W/m.K}$ ).

Por tanto, aplicado al reactor, se estudia el caso más desfavorable, que constituye una diferencia de temperatura de  $15^\circ\text{C}$  aproximadamente, es decir,  $5^\circ\text{C}$  en invierno o  $35^\circ\text{C}$  en verano. Se presentan los valores necesarios para la determinación del coeficiente de convección de aire a  $5^\circ\text{C}$ . La selección de la temperatura de invierno se debe a que un día de invierno a esa temperatura se le adjudica una velocidad del viento mayor que un día a  $35^\circ\text{C}$  y, por tanto, una transferencia mayor con el aire. Esta velocidad se le atribuye un valor de  $40 \text{ km/h}$ .

Tabla 1.33. Coeficiente de convección del aire

Parámetro	Valor
$C_p$ (J/kg.K)	1006,5
$\mu$ (Pa.s)	$1,7 \cdot 10^{-5}$
$k_f$ (W/m.K)	0,024
Número $Pr$	0,708
$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	1,280
$D$ (m)	3,500
$v$ (m/s)	11,11
Número $Re$	$2,9 \cdot 10^6$
Número Nusselt	2512,21
$h_{\text{aire}}$ ( $\text{W/m}^2.\text{K}$ )	17,44

A continuación se calcula el calor transferido con la ecuación (1.60).

$$Q = \frac{T_e - T_i}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k2\pi L} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_{\text{aire}}}} \quad (1.60)$$

Donde  $Q$  es el calor intercambiado (W),  $T_e$  y  $T_i$  las temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) del exterior e interior del cilindro, respectivamente,  $r_1$  y  $r_2$  los radios (m) interno y externo, respectivamente,  $k$  la conductividad del material del cilindro (W/m.K),  $L$  la longitud del cilindro (m) y  $h_{\text{aire}}$  el coeficiente de convección del aire (W/m<sup>2</sup>.K).

En la Tabla 1.34 se presentan los factores necesarios para el cálculo del calor intercambiado en el primer compartimento, por poseer mayor volumen de componentes volátiles.

Tabla 1.34. Energía intercambiada entre el aire y el reactor

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b><math>T_e</math> (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	5,00
<b><math>T_i</math> (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	19,5
<b><math>r_2</math> (m)</b>	1,81
<b><math>r_1</math> (m)</b>	1,75
<b><math>k_{\text{acero}}</math> (W/m.K)</b>	16,30
<b><math>L</math> (m)</b>	3,65
<b><math>h_{\text{aire}}</math> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	17,44
<b><math>Q</math> (kW)</b>	5,60

De esta manera, en el primer compartimento, el calor intercambiado con el aire se corresponde con un 3,8% con respecto al liberado en la reacción, lo que provoca que el 0,8% de los compuestos evaporados condensen, 50 kg/h aproximadamente. Con todo esto, teniendo en cuenta que el caudal de la corriente de vapor presenta una variación menor del 1% y la de líquido todavía menos, que esto sólo tiene lugar en el día más desfavorable y que se dispone de un sistema de control, se concluye con la innecesidad de un aislante. Además, por seguridad tampoco es necesario al no ser una temperatura peligrosa para los trabajadores.

## 2. COLUMNAS DE DESTILACIÓN

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La etapa consistente en la separación de los compuestos que conforman una corriente es, junto con la de reacción, la que posee mayor relevancia en gran parte de las plantas industriales. El motivo radica en que, a pesar de obtener el producto deseado, normalmente, presenta impurezas, las cuales llegan incluso a constituir una fracción molar mayor que el propio producto (Wankat, 2012)

Según la naturaleza de los compuestos que se traten, se presentan gran variedad de alternativas de separación. En el caso de la separación de una corriente líquida, proceso de abundante presencia en la industria, el método más ampliamente utilizado es la destilación. Este equipo, debido a la gran demanda existente de productos puros o en concentraciones muy elevadas, ofrece excelentes resultados mediante el aprovechamiento de los diferentes puntos de ebullición de los compuestos presentes en la corriente a separar. Por ello, se facilita la separación cuanto mayor diferencia de volatilidades exista (Richardson, y otros, 2002).

Este equipo, por lo expuesto antes, ha sido y es el objeto de numerosas investigaciones, con el fin de desarrollar técnicas cada vez más rigurosas y exactas sin olvidar el propósito fundamental, la reducción de los costes de la planta cumpliendo las especificaciones (Backhurst, y otros, 1979)

### 2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

La facilidad de la separación de mezclas líquidas por destilación depende de la diferencia de volatilidad entre los componentes presentes, de manera que, al aumentar la última, también lo hace la primera (Backhurst, y otros, 1979).

El equipamiento básico que se precisa para llevar a cabo la destilación se presenta en la Figura 2.1, tanto para una única alimentación como para múltiple. Mientras el vapor asciende y se obtiene por cabezas, el líquido sale por colas. Tanto uno como otro se reintroducen parcialmente en la columna tras experimentar un cambio de fase. En el caso de precisar el producto de cabezas en estado vapor, la condensación que experimenta la corriente de salida es parcial, con el objetivo de obtener únicamente el caudal líquido necesario para el reflujo a la columna. El equipo se divide en dos zonas. Por un lado, comentar la sección de agotamiento, situada por debajo de la alimentación, donde los componentes de mayor volatilidad se separan del líquido. Por otro, mencionar la sección de rectificación, localizada por encima de la alimentación, en la cual aumenta la concentración de estos componentes más volátiles (Richardson, y otros, 2002).



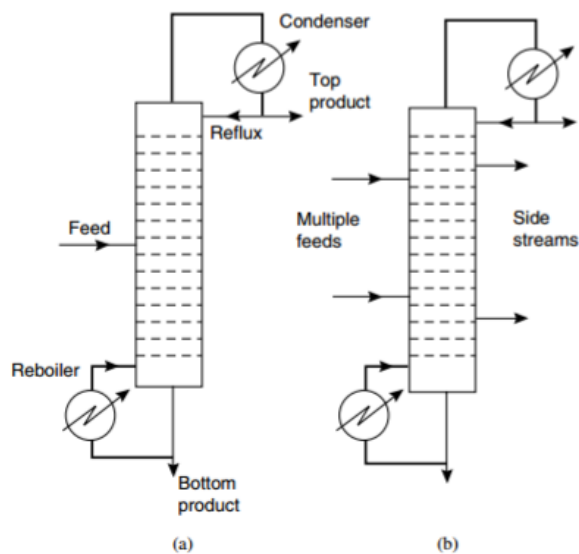


Figura 2.1. Ejemplos de columnas de destilación.

Fuente: (Richardson, y otros, 2002).

Además, resaltar que, en el caso de una mezcla binaria, se pueden obtener los dos compuestos puros en una columna de destilación por colas y cabezas, respectivamente. En cambio, si se trata de una mezcla multicomponente, sólo uno de los compuestos puede poseer una concentración del 100% salvo que se utilicen varias columnas, como se presenta en la Figura 2.2, ejemplificado para la mezcla tolueno y benceno y para el estireno, respectivamente.

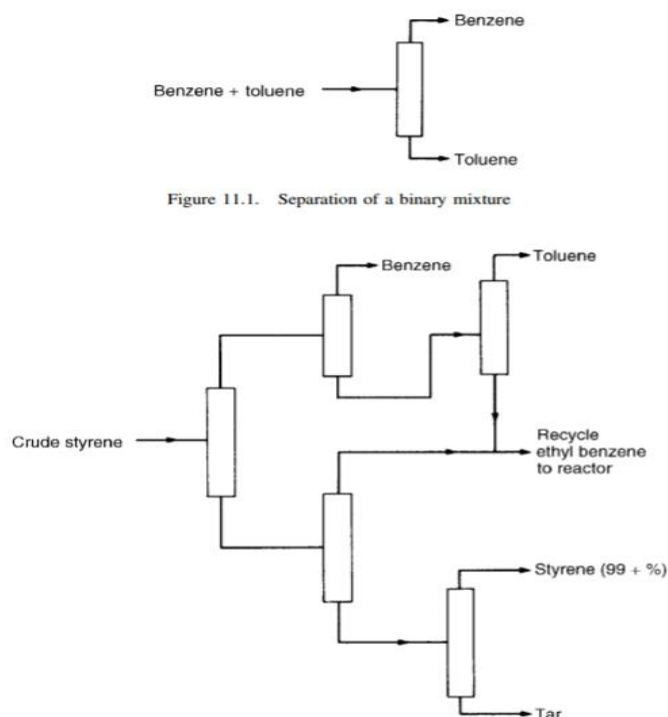


Figura 2.2. Diferencias entre separación bicomponente y multicomponente.

Fuente: (Richardson, y otros, 2002)

Un parámetro de operación fundamental en una columna es la presión de trabajo. La selección de su valor presenta el objetivo de obtener una diferencia entre los puntos de ebullición de los compuestos óptima para producirse la destilación atendiendo a los costes del equipo y de operación. Citar simplemente el caso especial de producirse la separación a vacío por motivo del punto de ebullición de un componente por encima de su temperatura de descomposición química (Wankat, 2012)

Finalmente, en lo referido a dimensiones, destacar que, en comparación con la mayoría de equipos, una columna presenta una capacidad mucho mayor. Su estructura cilíndrica le otorga mayor compactación y menor coste y presenta márgenes de diseño comprendidos entre 0,3 y 10 metros de diámetro y 3 y 75 metros de altura (Richardson, y otros, 2002).

### 2.3. TIPOS DE COLUMNA DE DESTILACIÓN

Las dos alternativas relevantes existentes en la industria son la columna de platos y la columna de relleno. A pesar de la necesidad del coste final para la decisión segura de la opción óptima, se puede estimar en función de los siguientes parámetros, divididos según comprenda características propias del sistema o aspectos físicos (Backhurst, y otros, 1979).

- **Características del sistema**

- Formación de espumas. Las columnas de relleno reducen el efecto de la espuma en comparación con las de platos donde se favorece este efecto por el burbujeo del vapor a través del líquido.
- Propiedades de la corriente. Destacar, en primer lugar, el ensuciamiento que se produce en el equipo por motivo de la existencia de partículas sólidas, lo que decanta la selección en favor de los platos al producirse acumulación entre los huecos del relleno. Comentar, en segundo lugar, la probabilidad de que la corriente posea un compuesto corrosivo, lo que orienta la selección hacia el relleno por el menor coste del material.
- Retención de líquido. Problema existente en la columna de platos por motivo de la acumulación en ellos de la corriente líquida. En cambio, la columna de relleno no presenta tal situación por el fluir del líquido a través del equipo como una fina película a través de las piezas de relleno.
- Calor requerido. Existen casos en los que se precisa la alimentación o incorporación de energía en forma de calor al equipo, acción que se facilita con la utilización de serpentines en los platos. Para el caso de la columna de relleno esta solución es imposible.
- Caída de presión. Una columna de relleno presenta, habitualmente, menor diferencia de presión entre las partes superior e inferior para el flujo del vapor ascendente.

- **Aspectos físicos**

- **Peso del equipo.** Comentar de este parámetro que es menor en el caso de un plato que para el relleno, tanto de material cerámico como de metal, equivalente.
- **Mantenimiento.** Por motivos de limpieza del equipo, es preferible la utilización de columnas de platos ya que, mediante la utilización de bocas de hombre, se puede acceder a su interior para las inspecciones y mantenimiento oportuno. Por su parte, en la otra alternativa, es necesaria la extracción del relleno previamente.
- **Existencia de corrientes laterales.** En este caso, la opción preferente es la columna de platos por la facilidad que presenta para la inserción de una corriente lateral, acción imposible si la columna posee relleno en su interior.
- **Tamaño y coste del equipo.** En lo referido a su fabricación, si se presenta un diámetro inferior a un metro, el menor coste radica en la columna de relleno. Para el caso contrario, es necesario valorar que la columna de platos posee una altura mayor que una de relleno equivalente pero también un diámetro menor para el flujo de vapor idéntico.

Las columnas de destilación de la planta de producción de isooctano son de platos. Esto se debe, en primer lugar, a que no existen problemas en los compuestos con la pérdida de presión (al no trabajar a vacío, sino a presiones elevadas) y, en segundo, al mantenimiento, facilitado con esta alternativa. Además no se tratan compuestos corrosivos que precisen la opción de relleno y el ensuciamiento con los platos es menor y, por último, se presenta una corriente de salida lateral en una de las dos columnas, condición que confirma la decisión tomada.

## 2.4. DISEÑO DE UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN DE PLATOS

Se presentan, en primer lugar, de modo introductorio, una serie de factores a considerar en el diseño de una columna para, posteriormente, proceder al dimensionamiento de la misma, estableciendo el número de platos y la altura del equipo, y al diseño mecánico.

### Relación de reflujo

La salida superior de la columna, en estado vapor, se conduce a un condensador. Tras obtener la corriente líquida, la relación entre la fracción del caudal que se reintroduce a la columna y la que se extrae y envía a otro equipo se denomina relación de reflujo (Richardson, y otros, 2002).

En el caso de llevar a cabo una condensación parcial, este parámetro establece la relación entre la fracción condensada y la obtenida en estado vapor. Se presenta su cálculo en la ecuación (2.1).

$$R = \frac{L_0}{D} \quad (2.1)$$

Donde R es la relación de reflujo,  $L_0$  el caudal reintroducido en la columna (kg/h) y D el caudal del producto destilado obtenido (kg/h).

Comentar la relevancia que posee este parámetro en la determinación del número de platos necesarios para la destilación como se detalla posteriormente. Se define el reflujo mínimo como aquel con el cual la columna requiere un número de platos infinitos para la separación. La experiencia permite afirmar que aplicando un sobredimensionamiento comprendido entre el 20 y el 50% de este valor se obtiene el reflujo óptimo, para el cual se reducen las necesidades energéticas sin precisar una columna de destilación de un tamaño excesivamente elevado (Richardson, y otros, 2002).

### Plato de alimentación

El plato en el que se introduce la alimentación a la columna afecta al cálculo del número de platos teóricos para llevar a cabo la destilación. Como norma general, la entrada de la corriente se sitúa en el plato que presenta una concentración similar a la de entrada.

### Presión de operación

Para la mayoría de los procesos químicos, el criterio de selección de la presión a la que se lleva a cabo la destilación es la temperatura a la que se produce la condensación del destilado. El objetivo es llevarla a cabo con agua de refrigeración para la cual la temperatura máxima es de 30°C. Si la presión resulta excesivamente elevada se puede considerar la utilización de salmuera como refrigerante. La excepción de esta consideración recogida por la heurísticas es el caso de los compuestos termosensibles, es decir, los que se descomponen a ciertas temperaturas, lo que obliga a la utilización, en ciertos casos, de operar a vacío, para no superar ese valor de temperatura (Wankat, 2012).

Simplemente comentar para finalizar esta sección que es habitual la consideración de constante a la presión de la columna o atribuirle una caída de presión pequeña, posteriormente comprobada. Sin embargo, para el caso de operar a vacío la energía perdida por fricción presenta mayor importancia por su mayor valor y por la posibilidad de descomponerse el compuesto en caso de ser excesiva.

### 2.4.1. COLUMNAS DE DESTILACIÓN BICOMPONENTE

A continuación se explica el procedimiento utilizado para el dimensionamiento y diseño mecánico de columnas de destilación de corrientes formadas por dos componentes.

#### 2.4.1.1 BALANCE DE MATERIA

En primer lugar se presenta el balance de materia global de la columna, así como el específico para el componente clave, en las ecuaciones (2.2) y (2.3).

$$F = B + D \quad (2.2)$$

$$F \cdot x_F = B \cdot x_B + D \cdot x_D \quad (2.3)$$

Donde  $F$  es la alimentación a la columna (kg/h),  $B$  el caudal obtenido por colas en estado líquido (kg/h),  $D$  el flujo de destilado (kg/h) y  $x$  la concentración del componente de interés.

Tras ello, es necesario establecer un balance de materia en las dos secciones de la columna con el objetivo de conocer los caudales circulantes por su interior. Para ello, se presenta la estructura de las dos partes en la Figura 2.3..

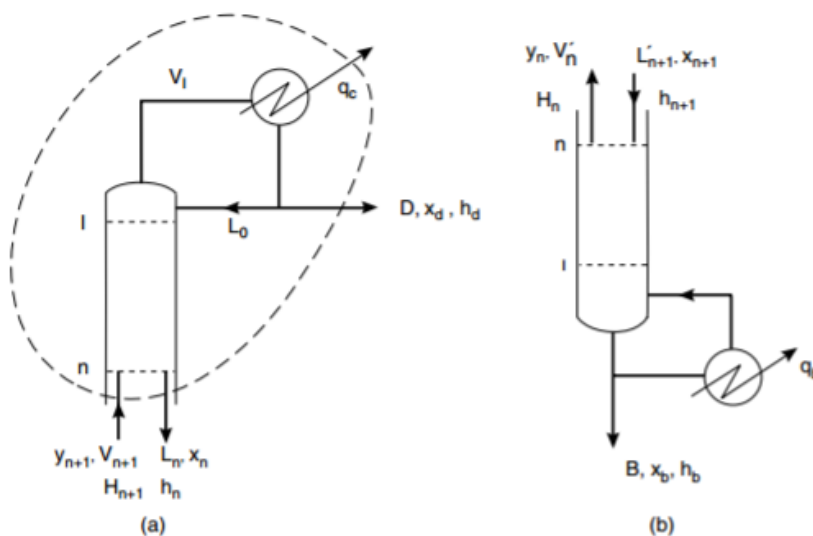


Figura 2.3. Flujos de la columna a) Rectificación b) Agotamiento.

Fuente: (Richardson, y otros, 2002)

Y, a continuación, se desarrollan los cálculos en las ecuaciones (2.4) y (2.5), respectivamente, considerando que la alimentación se encuentra como líquido saturado.

$$V = L_o + D \quad (2.4)$$

$$L = B + V \quad (2.5)$$

Donde  $V$  es la corriente de vapor que asciende por la columna (kg/h),  $L_o$  el caudal de líquido reintroducido en la columna tras la condensación (kg/h),  $D$  el flujo de compuesto destilado (kg/h),  $L$  es el caudal de líquido que desciende en la zona inferior de la columna y  $B$  el caudal del compuesto obtenido por colas en estado líquido (kg/h).

Por tanto, al conocer el caudal de entrada a la columna y su composición, así como las especificaciones de cabezas y colas y el reflujo, queda definido el equipo.

#### 2.4.1.2. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PLATOS

Se aplica el método Lewis-Sorel para el cálculo del número de platos. En primer lugar se consideran constantes los flujos de líquidos y vapor en la dos zonas de la columna, simplificación aceptable para compuestos que no presentan cambios significativos en los calores latentes de vaporización y en los calores específicos en el rango de temperaturas de la columna. Así, se desprecia el calor de mezcla y las pérdidas. Esto ocurre para sistemas donde los componentes conforman una mezcla próxima a la idealidad. Aun así, grandes diferencias en los calores latentes introducen errores relativamente pequeños y aceptables (Richardson, y otros, 2002).

De esta manera, el método se inicia con el cálculo de las ecuaciones que permiten calcular la composición entre platos, descritas para la zona de rectificación y la de agotamiento en las ecuaciones (2.6) y (2.7).

$$y_{n+1} = \frac{L_o}{L_o + D} x_n + \frac{D}{L_o + D} x_d \quad (2.6)$$

$$y_n = \frac{L}{V} x_{n+1} - \frac{B}{V} x_b \quad (2.7)$$

Donde  $y_{n+1}$  es la composición del vapor en el plato siguiente de la zona de rectificación,  $y_n$  en el actual,  $L_o$  es el caudal de líquido reintroducido en la columna (kg/h),  $D$  es el caudal de destilado (kg/h),  $B$  el caudal de colas (kg/h),  $L$  el caudal de líquido de la zona de agotamiento (kg/h),  $V$  el caudal de vapor reintroducido en la columna por la parte inferior (kg/h) y  $x_n$ ,  $x_{n+1}$ ,  $x_d$  y  $x_b$  las concentraciones molares del líquido en el plato actual, en el siguiente, en el destilado y en el producto de colas, respectivamente. Estas dos ecuaciones son lineales y se denominan líneas de operación. Conocido la ecuación de equilibrio se pueden establecer las concentraciones de cada plato y, con ello, el número de platos necesarios para cumplir las especificaciones.

### 2.4.1.3 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TORRE

Un parámetro característico de una columna de destilación es su diámetro. Para su determinación se valora el punto de inundación del recipiente llevado a cabo en una serie de pasos descritos a continuación.

#### Velocidad del vapor en condiciones de inundación

Este parámetro se calcula con el objetivo de reducirlo en un porcentaje suficiente para construir la torre con un diámetro seguro que evite la inundación. Depende de las densidades del líquido y del vapor y de la capacidad de inundación de una bandeja según la ecuación (2.8).

$$v_{nf} = C_{sb} \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} \quad (2.8)$$

Donde  $v_{nf}$  es la velocidad del vapor en condiciones de inundación (m/s),  $C_{sb}$  es el coeficiente determinado con la Figura 2.4 (m/s) y  $\rho_L$  y  $\rho_V$  son las densidades del líquido y del vapor ( $\text{kg/m}^3$ ), respectivamente.

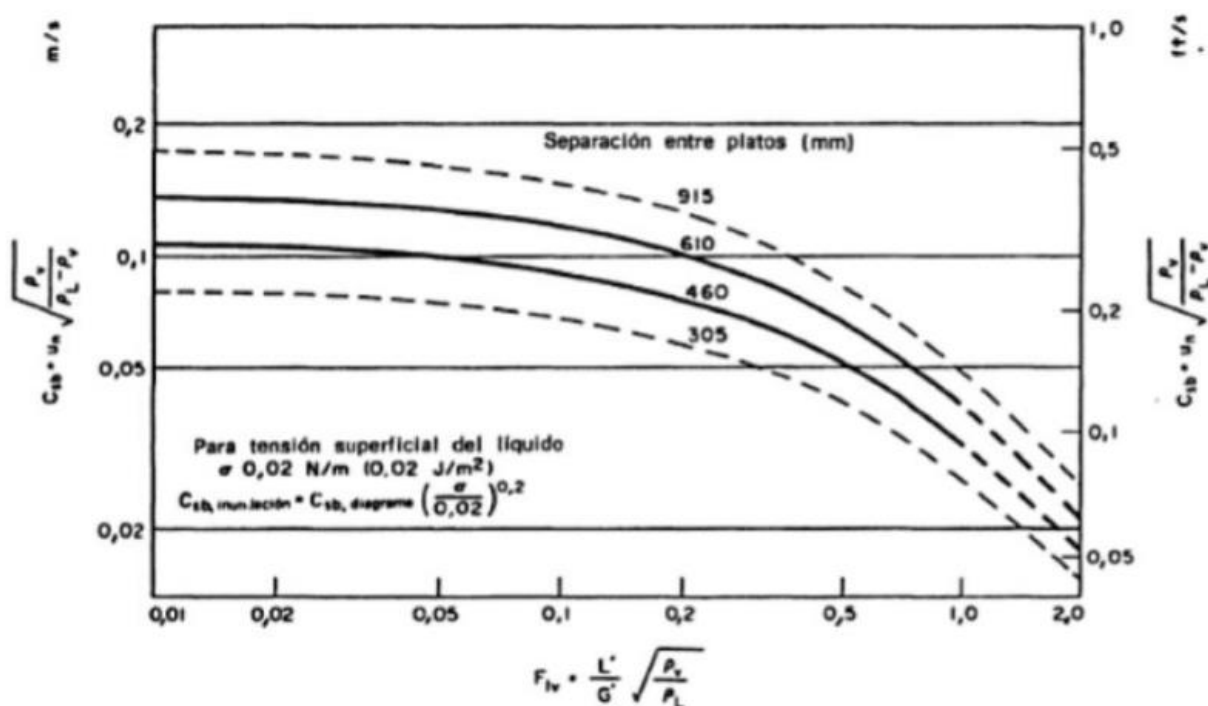


Figura 2.4. Coeficiente  $C_{sb}$  para bandejas de flujo cruzado, paso simple y bajantes segmentadas.

Fuente: (Sinnott, 2005)

Mientras que para la separación entre los platos se supone un valor comprendido entre 0,3-0,9 metros, el valor parámetro de flujo  $F_{LV}$  se determina con la ecuación (2.9).

$$F_{LV} = \frac{L_o}{V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} \quad (2.9)$$

Siendo  $F_{LV}$  el parámetro adimensional de flujo,  $L_o$  el flujo de líquido reintroducido en la torre por la parte superior (kg/h),  $V$  el caudal de vapor reintroducido en la columna por la parte inferior (kg/h) y  $\rho_V$  y  $\rho_L$  las densidades del vapor y del líquido respectivamente.

Comentar simplemente que la Figura 2.4 se utiliza tan sólo para líquidos cuya tensión superficial es de 0,02 J/m<sup>2</sup>. En caso diferente, se recalcula  $C_{sb}$  con la ecuación (2.10).

$$C_{sb_{inundación}} = C_{sb_{diagrama}} \left( \frac{\sigma}{0,02} \right)^{0,2} \quad (2.10)$$

Donde  $C_{sb_{inundación}}$  es el valor real del coeficiente (m/s),  $C_{sb_{diagrama}}$  el valor teórico para una tensión superficial de 0,02J/m<sup>2</sup> y  $\sigma$  la tensión superficial de la corriente (J/m<sup>2</sup>).

### Selección de la bandeja

Para muchas aplicaciones, se utiliza el tipo de bandeja de flujo cruzado con paso simple y bajantes segmentadas. Es el tipo más habitual para caudales comprendidos entre 3-30 L/s y las diferentes áreas se definen a continuación.

- Área transversal de la columna,  $A_t$
- Área transversal de la bajante,  $A_d$
- Área neta disponible para la separación,  $A_n$
- Área activa o de burbujeo,  $A_a$
- Área de los orificios,  $A_h$

Las relaciones entre ellas se presentan en las ecuaciones (2.11), (2.12), (2.13) y (2.14).

$$A_d = 0,12A_T \quad (2.11)$$

$$A_n = A_T - A_d = 0,88 A_T \quad (2.12)$$

$$A_a = A_T - 2A_d = 0,76A_T \quad (2.13)$$

$$A_h = 0,08A_T \quad (2.14)$$



### Diámetro de la torre

Para la determinación del diámetro de la torre es necesario establecer, inicialmente, un porcentaje de inundación, es decir, un margen de seguridad para evitar ese problema. Conocido el mismo, se obtiene la velocidad de flujo del vapor por la columna con la ecuación

$$v_n = F \cdot v_{nf} \quad (2.15)$$

Donde  $v_n$  es la velocidad del vapor por la columna (m/s),  $F$  es el factor de seguridad y  $v_{nf}$  es la velocidad de circulación del vapor en condiciones de inundación (m/s).

Finalmente, mediante la ecuación (2.16), se determina el diámetro de la torre.

$$A_T = \frac{Q_v}{0,88v_n} = \frac{\pi}{4} D_T^2 \quad (2.16)$$

Donde  $A_T$  es el área transversal de la columna (m<sup>2</sup>),  $Q_v$  es el caudal de vapor (m<sup>3</sup>/s),  $v_n$  es la velocidad de flujo del vapor (m/s) y  $D_T$  es el diámetro de la torre (m).

#### 2.4.1.4. CAÍDA DE PRESIÓN

Uno de los factores que permite comprobar el correcto diseño de la columna de destilación es la caída de presión. Para ello se utiliza la ecuación (2.17).

$$\Delta P_{TOTAL} = \Delta P_{DRY} + h_a \quad (2.17)$$

Donde  $\Delta P_{TOTAL}$  es la caída de presión total en cada plato (m),  $\Delta P_{DRY}$  es la caída de presión en la bandeja seca por el paso del vapor a través de los orificios (m) y  $h_a$  es la caída de presión por el paso del vapor a través del líquido (m). El primer término se determina con la ecuación (2.18) y el segundo con la ecuación (2.20). Si el valor resulta elevado se puede disminuir mediante el aumento del área de los agujeros, lo que conlleva una velocidad menor del vapor.

$$\Delta P_{DRY} = 5,08 \left( \frac{\rho_v}{\rho_L} \right) \left( \frac{v_h}{C_o} \right)^2 \quad (2.18)$$

Donde  $\Delta P_{DRY}$  es la caída de presión en la bandeja seca por el paso del vapor a través de los orificios (m),  $\rho_v$  y  $\rho_L$  son las densidades del líquido y del vapor (kg/m<sup>3</sup>), respectivamente,  $v_h$  es la velocidad a través de los orificios (m/s), establecida con la ecuación (2.19) y  $C_o$  es el coeficiente de descarga o de orificio seco establecido con la Figura 2.5 conocida la relación espesor de plato/ diámetro del agujero y  $A_h/A_a$ .

$$v_h = \frac{Q_v}{A_h} \quad (2.19)$$

Donde  $v_h$  es la velocidad del vapor a través de los orificios (m/s),  $Q_v$  es el caudal de vapor que circula por la columna (m<sup>3</sup>/s) y  $A_h$  es el área de los orificios (m<sup>2</sup>).

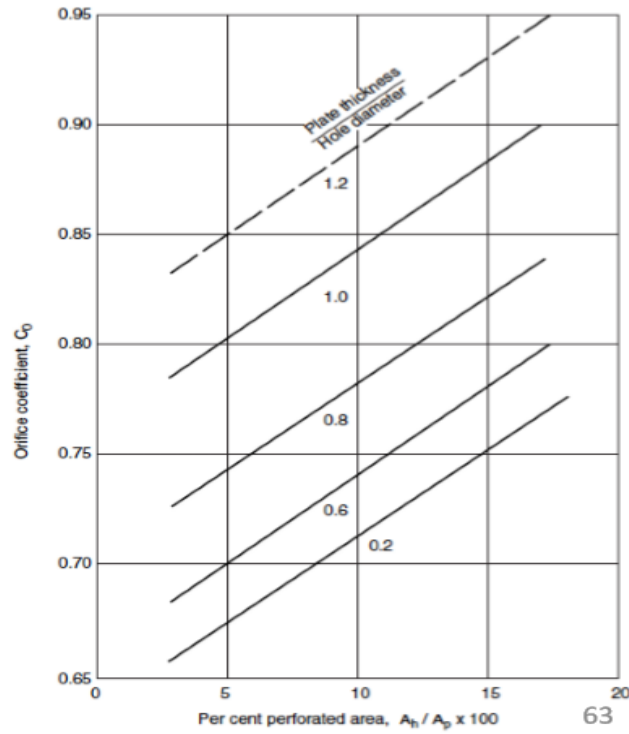


Figura 2.5. Coeficiente de descarga de orificio seco.

Fuente: (Sinnott, 2005)

$$h_a = Q_p(0,1h_w + h_{ow}) \quad (2.20)$$

Donde  $h_a$  es la caída de presión por el paso del vapor a través del fluido (cm),  $Q_p$  es el factor de aireación obtenido con la Figura 2.6,  $h_w$  es la altura del rebosadero (mm) y  $h_{ow}$  es la capa de líquido por encima del rebosadero (cm), determinada con la ecuación (2.22). Para la utilización de la Figura 2.6 se precisa resolver primero la ecuación (2.21).

$$F_{VA} = \frac{Q_v}{A_a} \sqrt{\rho_v} \quad (2.21)$$

Donde  $F_{VA}$  es el parámetro de flujo de vapor,  $Q_v$  es el caudal de vapor ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $A_a$  es el área activa ( $\text{m}^2$ ) y  $\rho_v$  es la densidad del vapor ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

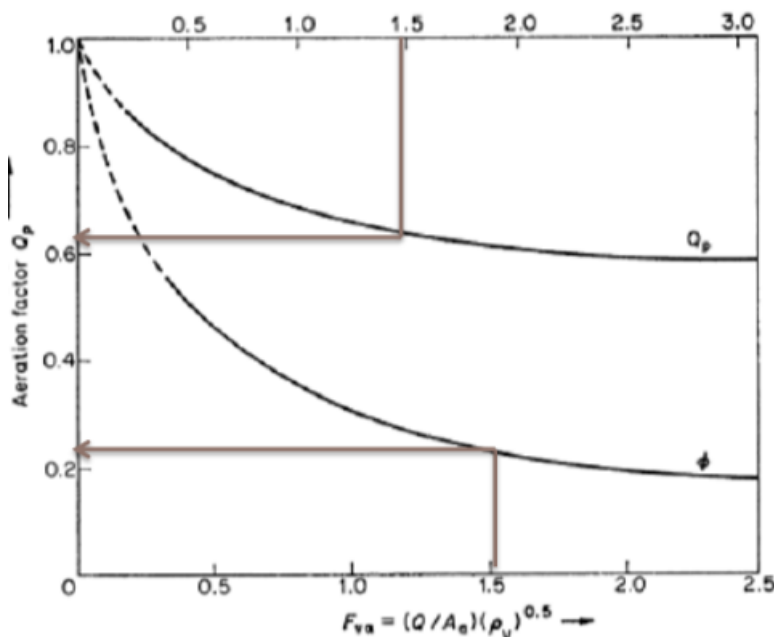


Figura 2.6. Determinación del factor de aireación.

Fuente: (Sinnott, 2005)

$$h_{ow} = 66,6 \left( \frac{q}{l_w} \right)^{0,67} \quad (2.22)$$

Donde  $h_{ow}$  es la capa de líquido por encima del rebosadero (m),  $q$  es el caudal del líquido ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y  $l_w$  es la longitud del rebosadero (m), equivalente al 77% del diámetro.

Finalmente, con la ecuación (2.23), se obtiene la caída de presión total de la columna.

$$\Delta P_{columna} = \Delta P_{total} N_p \rho_L g \quad (2.23)$$

Donde  $\Delta P_{columna}$  es la caída de presión de la columna (Pa),  $\Delta P_{total}$  es la caída de presión total de cada plato (m),  $N_p$  el número de platos,  $\rho_L$  la densidad del líquido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y  $g$  la aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ ).

Además es necesario comprobar que los derrames son aceptable mediante la Figura 2.7, resolviendo primeramente la ecuación (2.24).

$$h_\sigma = 4,14 \cdot 10^4 \frac{\sigma}{\rho_L d_h} \quad (2.24)$$

Donde  $h_\sigma$  es la pérdida de carga por la formación de burbujas (m),  $\sigma$  la tensión superficial ( $\text{J}/\text{m}^2$ ),  $\rho_L$  es la densidad del líquido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y  $d_h$  el diámetro de los agujeros (mm).

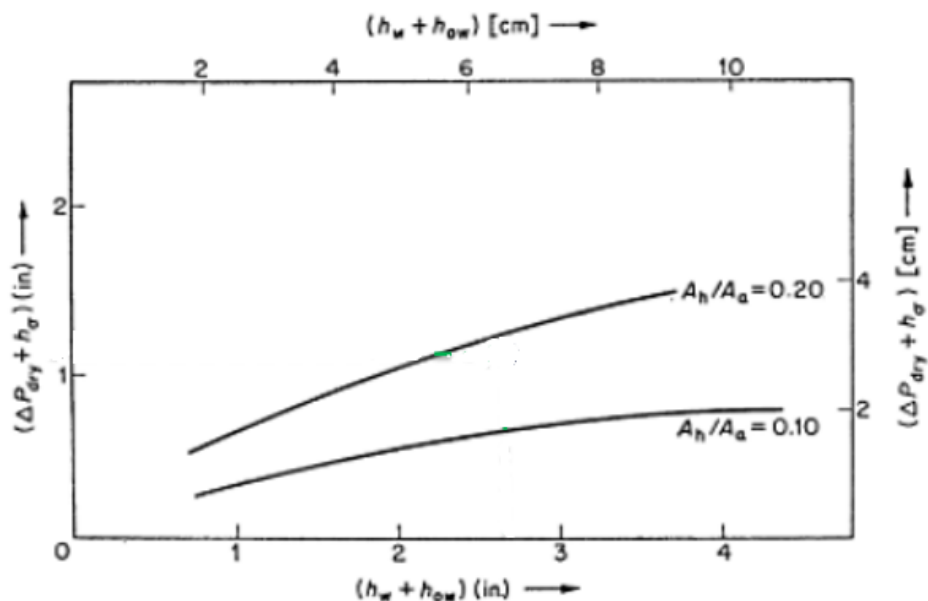


Figura 2.7. Derrames en la columna de destilación de platos. Fuente: (Sinnott, 2005)

El punto obtenido debe situarse encima de la curva correspondiente en función de la relación de áreas para considerar el diseño correcto.

Finalmente, se determina un último parámetro para verificar el diseño, el tiempo de residencia del líquido en la bajante, el cual debe ser superior a tres segundos y se calcula con la ecuación (2.25).

$$\theta = \frac{T_s}{v_d} \quad (2.25)$$

Donde  $\theta$  es el tiempo de residencia entre bandeja (s),  $T_s$  es el espaciado entre bandeja (m) y  $v_d$  es la velocidad del líquido en la bajante (m/s), determinado con la ecuación (2.26).

$$v_d = \frac{Q_L}{A_d \cdot \rho_L} \quad (2.26)$$

Siendo  $v_d$  la velocidad del líquido en la bajante (m/s),  $Q_L$  el caudal de líquido que circula por la bajante (kg/s),  $A_d$  el área de la bajante ( $m^2$ ) y  $\rho_L$  la densidad del líquido ( $kg/m^3$ ).

## 2.5. COLUMNA DE DESTILACIÓN T-301

Tras lo explicado, se procede al diseño de la columna de destilación T-301. Este equipo presenta la función de purgar un caudal de propano igual al introducido en la planta con el objetivo de evitar su acumulación y obtener por colas el reactivo en exceso a recircular.

### 2.5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA COLUMNA

La corriente de alimentación presenta la composición descrita en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición de la alimentación T-301

Compuesto	Fracción molar
<b>Propano</b>	0,06
<b>n-Butano</b>	0,05
<b>i-Butano</b>	0,89
<b>1-buteno</b>	< 0,01
<b>Isooctano</b>	< 0,01
<b>Dodecano</b>	-

Descartando los tres últimos compuestos por su pequeña concentración en la corriente y, teniendo en cuenta que el n-butano posee una temperatura de ebullición superior a la del isobutano, se aproxima el diseño al de una columna bicomponente propano-isobutano. Finalmente, con la ayuda de un simulador, se corroboran los resultados.

El primer paso es establecer la presión de operación para lo cual se presentan los puntos de ebullición de los dos compuestos a separar a diferentes valores de presión en la tabla Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Temperatura de ebullición de los compuestos a diferentes presiones

Presión (bar)	5	10	13	15	18
<b>Punto ebullición propano (°C)</b>	1,80	26,92	37,67	43,85	52,08
<b>Punto ebullición isobutano (°C)</b>	37,96	66,30	78,41	85,37	94,63

Con el propósito de la utilización de agua como refrigerante a 25-30 grados, se decide llevar a cabo la destilación a 15 bares, ya que un valor mayor no genera un cambio sustancial y se obtiene margen de 20 grados a la entrada, aproximadamente, correcto para la condensación (Incropera, y otros, 1999).

### 2.5.2. BALANCES DE MATERIA

El siguiente paso es proceder al balance de materia global para el cual se precisan los datos de la corriente de entrada y las especificaciones. Con ellos, se resuelven las ecuaciones (2.2) y (2.3) y se presentan los valores obtenidos en la Tabla 2.3. Comentar que, en esta ocasión, una especificación es el caudal de propano que se obtiene por la parte superior, el cual debe ser igual al propano introducido al sistema para evitar su acumulación y la otra es la concentración de isobutano en la corriente de destilado, buscando el menor valor posible para reducir la pérdida del reactivo en exceso.

Tabla 2.3. Balance de materia global T-301

Parámetro	Valor
Caudal de alimentación, F (kg/h)	9.719,50
[Propano] <sub>alimentación</sub> , $x_f$	5,80
Caudal de propano destilado, $D_p$ (kg/h)	114,91
[Isobutano] <sub>destilado</sub> , $x_b$	8,80
Caudal de destilado, D (kg/h)	129,54
Caudal de colas, B (kg/h),	9.589,96

Por otro lado, mediante la resolución de las ecuaciones (2.6) y (2.7) con el objetivo de que se corten en un punto de la curva de equilibrio presentada en la Figura 2.8 con la única incógnita de la relación de reflujo, se obtiene el valor mínimo de este parámetro, para el cual se necesitan infinitos platos para llevar a cabo la destilación. Este valor y el real, tras sobredimensionar el primero un 40%, junto con los parámetros del balance de materia llevado a cabo en las secciones de rectificación y agotamiento se presentan en la Tabla 2.4 mediante la resolución de las ecuaciones (2.1), (2.4) y (2.5).

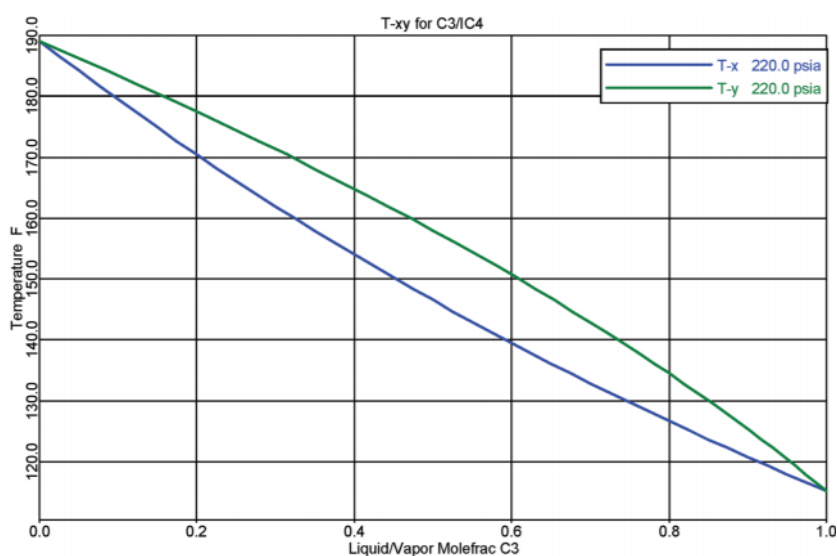


Figura 2.8. Curva de equilibrio propano/isobutano. Fuente: (Luyben, 2009)

Tabla 2.4. Balances de materia parcial de la columna T-301

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Relación de reflujo mínima</b>	17,46
<b>Sobredimensionamiento (%)</b>	40,00
<b>Relación de reflujo real</b>	24,45
<b>Caudal de líquido reintroducido, <math>L_o</math> (kg/h)</b>	3.167,25
<b>Caudal de líquido total, <math>L</math> (kg/h)</b>	12.887,00
<b>Caudal de vapor total, <math>V</math> (kg/h)</b>	3.296,79

### 2.5.3. NÚMERO DE PLATOS

Mediante la resolución alternativa de la ecuación de equilibrio y la de operación correspondiente según la sección de la columna en la que se encuentre se determina el número de platos y las concentraciones de los mismos. Los resultados se muestran en la Tabla 2.5. Comentar que la alimentación se realiza en un plato situado en la parte inferior de la columna, ya que toda ella es, prácticamente, sección de rectificación y la alimentación posee una composición semejante a uno de los platos próximo al calderín.

Tabla 2.5. Composición de los platos de la columna T-301

<b>Plato</b>	<b><math>x_{\text{propano}}</math></b>	<b><math>x_{\text{isobutano}}</math></b>
<b>1</b>	0,912	0,088
<b>2</b>	0,843	0,157
<b>3</b>	0,742	0,258
<b>4</b>	0,613	0,387
<b>5</b>	0,474	0,526
<b>6</b>	0,346	0,654
<b>7</b>	0,245	0,755
<b>8</b>	0,172	0,828
<b>9</b>	0,123	0,877
<b>10</b>	0,091	0,909
<b>11</b>	0,072	0,928
<b>12</b>	0,060	0,940
<b>13</b>	0,052	0,948
<b>14</b>	0,048	0,952
<b>15</b>	0,046	0,954
<b>16</b>	0,040	0,960

Finalmente, a la salida por colas se le añade el caudal de los compuestos más pesados que se introdujeron en la columna. El número de platos necesarios para llevar a cabo la destilación es de 16 y la alimentación se realiza en el número 12, al presentar la composición semejante a la de ese plato. Los datos proporcionados en el simulador Hysys informan de que, idealmente, el valor de platos necesarios para las especificaciones del caudal de propano destilado y la concentración de isobutano en esa corriente es de 17 platos. Por tanto, la aproximación a mezcla bicomponente se puede aceptar como válida. Se atribuye a la columna una eficiencia del 85% debido a que para la separación de estos compuestos adquiere un valor elevado y se reduce ligeramente para contrarrestar la consideración de bicomponente. Se obtiene así, finalmente, un valor de 20 platos, con la alimentación en el plato 15.

#### 2.5.4. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TORRE

El primer paso para la determinación del diámetro necesario de la columna de destilación descrita anteriormente es el cálculo de la velocidad de inundación de la torre según la ecuación (2.8). Para ello, se determina previamente el coeficiente  $C_{sb}$  con la Figura 2.4 donde el parámetro de flujo  $F_{LV}$  se obtiene con la ecuación (2.9). El valor del coeficiente  $C_{sb}$  se recalcula en función de la tensión superficial según la ecuación (2.10). Finalmente, conocida la velocidad del vapor en condiciones de inundación, se determina, según la ecuación (2.15), la velocidad de circulación real en función del porcentaje de seguridad establecido y se obtiene el diámetro con la ecuación (2.16).

Los resultados se presentan en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Cálculo de la velocidad de inundación de la torre T-301

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad del líquido, <math>\rho_L</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	457,40
<b>Densidad del vapor, <math>\rho_V</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	39,20
<b>Separación entre bandejas, <math>T_s</math> (m)</b>	0,50
<b>Parámetro de flujo, <math>F_{LV}</math></b>	0,245
<b>Coeficiente <math>C_{SB}</math> (m/s)</b>	0,075
<b>Tensión superficial, <math>\sigma</math> (J/m<sup>2</sup>)</b>	3,45
<b>Coeficiente <math>C_{SB}</math> real (m/s)</b>	0,053
<b>Velocidad del vapor para inundación, <math>v_{nf}</math> (m/s)</b>	0,17
<b>Porcentaje de seguridad (%)</b>	80,0
<b>Velocidad del vapor real (m/s)</b>	0,138
<b>Diámetro de la torre (m)</b>	0,50



Por tanto, se utiliza una columna de destilación de 0,53 metros de diámetro y 12 metros de altura aproximadamente, al considerar 20 platos, un espaciamiento entre ellos de 0,5 m y la altura del líquido en el fondo y del soporte. En segundo lugar, se dimensiona la bandeja. Para ello cabe destacar la utilización de una bandeja de flujo cruzado con paso simple y bajante segmentada, apropiada debido al caudal de alimentación de 4,82 L/s, comprendido entre 3 y 30 L/s. Se determinan las diversas áreas de cada bandeja tras la resolución de las ecuaciones (2.11), (2.12), (2.13) y (2.14). Se presentan los valores en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Cálculo del diámetro de la torre de la torre T-301

Parámetro	Valor
Área transversal de la bandeja $A_T$ (m <sup>2</sup> )	0,192
Área neta disponible para la separación, $A_n$ (m <sup>2</sup> )	0,169
Área activa o de burbujeo, $A_a$ (m <sup>2</sup> )	0,146
Área de los orificios, $A_h$ (m <sup>2</sup> )	0,015
Área transversal de la bajante, $A_d$ (m <sup>2</sup> )	0,023

Para la comprobación previa del diseño se determina la caída de presión según la ecuación (2.17). Para ello, se resuelve en primer lugar la ecuación (2.18) con ayuda de la ecuación (2.19) y Figura 2.5. Los valores obtenidos del primer término se presentan en la Tabla 2.8

Tabla 2.8. Cálculo de la caída de presión  $\Delta P_{dry}$  T-301

Parámetro	Valor
Caudal del vapor, $Q_v$ (m <sup>3</sup> /min)	1,41
Velocidad del vapor por orificios, $v_h$ (m/s)	1,52
Relación $A_h/A_a$	0,10
Espesor plato (mm)	1,88
Diámetro orificio (mm)	4,76
Relación espesor plato/ $d_h$	0,39
Coefficiente de orificio, $C_o$	0,72
Caída de presión $\Delta P_{DRY}$ , (cm)	1,93

Ahora se procede con el segundo término, la caída de presión por el paso del vapor a través del líquido ( $h_a$ ), calculado según la ecuación (2.20) con la ayuda de la Figura 2.6 y la ecuación (2.22). La Figura 2.6 requiere la resolución previa de la ecuación (2.21). Se presentan los resultados en la tabla Tabla 2.9 junto con el valor de la caída de presión total en cada plato. Como último factor, se resuelve la ecuación (2.23) para obtener la caída de presión total de la columna.

Tabla 2.9. Cálculo de la caída de presión  $h_a$  T-301

Parámetro	Valor
Altura del rebosadero, $h_w$ (cm)	5,08
Caudal de líquido, $q$ (L/s)	7,83
Longitud del rebosadero (m)	0,41
Capa de líquido sobre rebosadero, $h_{ow}$ (cm)	4,93
Parámetro de flujo de vapor, $F_{SA}$	1,00
Factor de aireación, $Q_P$	0,65
Caída de presión $h_a$ (cm)	6,51
$\Delta P_{TOTAL}$ por plato (cm)	8,44
$\Delta P_{TOTAL}$ (kPa)	7,58

Finalmente, se completa la verificación del diseño correcto con la comprobación de los derrames mediante la resolución de la ecuación (2.24) y la Figura 2.7 así como la determinación del tiempo de residencia del líquido en la bajante, que debe ser superior a 3 segundos, con la ecuación (2.25), tras la resolución previa de la (2.26). Los resultados se presentan en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Factores de comprobación T-301

Parámetro	Valor
Pérdida de carga $h_{\sigma}$ , (cm)	0,07
Velocidad del líquido en la bajante, $v_d$ (m/s)	0,08
Tiempo de residencia del líquido (s)	6,00

## 2.6. COLUMNA DE DESTILACIÓN T-401

Repitiendo el proceso descrito para la columna T-301, se procede al diseño de la T-401. Este equipo presenta la función de purificar el isooctano, producto deseado para su posterior venta y purgar un caudal de butano, por una corriente lateral, igual al introducido en la planta con el objetivo de evitar su acumulación. El procedimiento es análogo al de la otra columna, por lo que solamente se presentan los resultados.

### 2.6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA COLUMNA

La corriente de entrada a la columna presenta la composición descrita en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Composición de la alimentación T-401

Compuesto	Fracción molar
<b>Propano</b>	0,02
<b>n-Butano</b>	0,07
<b>i-Butano</b>	0,88
<b>1-buteno</b>	< 0,01
<b>Isooctano</b>	0,03
<b>Dodecano</b>	< 0,01

En esta ocasión, además de isobutano e isooctano, compuestos a separar principalmente, también existe butano que, en esta ocasión, presenta un punto intermedio entre los dos compuestos. También es necesario considerar el caudal de propano y de dodecano que, como se demostró en la columna T-301, a pesar de tener puntos de ebullición no intermedios, presentan cierta influencia en el proceso. Con todo esto se concluye la realización de los cálculos necesarios para la determinación del número de platos mediante la utilización del simulador Aspen Hysys.

Se comienza con la determinación de la presión de operación para lo cual se presentan los puntos de ebullición de los dos compuestos a separar a diferentes valores de la misma en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Punto de ebullición de los compuestos a diferentes presiones

Presión (bar)	5	6	7	8
<b>Punto ebullición isobutano (°C)</b>	37,96	66,30	78,41	85,37
<b>Punto ebullición isooctano (°C)</b>	167,90	177,40	185,80	193,40

Con el propósito de la utilización de agua como refrigerante a 25-30 grados, se decide llevar a cabo la destilación a 6,5 bares (Luyben, 2009).

### 2.6.2. BALANCES DE MATERIA

Las especificaciones en esta ocasión son la concentración de n-butano por cabezas salida lateral, la de isooctano por colas diferentes corrientes de salida con el objetivo de obtener por colas el producto deseado cumpliendo la concentración establecida y purgar el caudal de n-butano alimentado al sistema entre esta corriente y la salida lateral. Así, se pretende establecer una concentración molar lo menor posible del inerte por la salida superior e inferior y lo mayor posible por la corriente lateral. Los resultados se presentan en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13. Balance de materia global T-401

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Caudal de alimentación, F (kg/h)</b>	31.684,43
<b>Fracción molar de butano por cabezas (%)</b>	4,33
<b>Fracción molar de butano salida lateral (%)</b>	98,42
<b>Fracción molar de isooctano por colas (%)</b>	90,00
<b>Caudal de destilado, D (kg/h)</b>	28.854,90
<b>Caudal salida lateral, S (kg/h)</b>	951,95
<b>Caudal de colas, B (kg/h),</b>	1.877,58

En la tabla Tabla 2.14 se presentan los valores de los balances de materia realizados a las sección de la columna tras la determinación del reflujo mínimo y su sobredimensionamiento.

Tabla 2.14. Balances de materia parcial de la columna T-401

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Relación de reflujo mínima</b>	4,77
<b>Sobredimensionamiento (%)</b>	40,00
<b>Relación de reflujo real</b>	6,67
<b>Caudal de líquido reintroducido, L<sub>o</sub> (kg/h)</b>	192.462,18
<b>Caudal de líquido total, L (kg/h)</b>	203.224,50
<b>Caudal de vapor total, V (kg/h)</b>	201.346,92

### 2.6.3. NÚMERO DE PLATOS

Se presenta en la Tabla 2.15 y la Tabla 2.16 la composición de las salidas y el número de platos necesarios, respectivamente, tomando una eficiencia del 90%.

Tabla 2.15. Concentración molar de las salidas de la columna T-401

Corriente	Propano	n-buteno	Isobutano	1-Butano	Isooctano	Dodecano
<b>Cabezas (%)</b>	2,37	4,33	93,29	0,01	-	-
<b>Lateral (%)</b>	-	98,42	0,65	0,13	0,78	0,02
<b>Colas (%)</b>	-	4,94	-	-	90,00	5,06

Tabla 2.16. Número de platos T-401

Parámetro	Valor
<b>Platos necesarios</b>	52
<b>Plato alimentación</b>	6
<b>Plato salida lateral</b>	48

En esta columna destaca su zona de agotamiento pues la mayoría de los platos se sitúan por debajo de la alimentación con el objetivo de evaporar isobutano para obtener el isooctano puro.

### 2.6.4. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TORRE

Repitiendo el procedimiento de la columna anterior, se determina el diámetro de la torre T-401.

Los resultados se presentan en la Tabla 2.17.

Tabla 2.17. Cálculo de la velocidad de inundación de la torre T-401

Parámetro	Valor
<b>Densidad del líquido, <math>\rho_L</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	500,40
<b>Densidad del vapor, <math>\rho_V</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	22,68
<b>Separación entre bandejas, <math>T_s</math> (m)</b>	0,50
<b>Parámetro de flujo, <math>F_{LV}</math></b>	0,20
<b>Coefficiente <math>C_{SB}</math></b>	0,070
<b>Tensión superficial, <math>\sigma</math> (J/m<sup>2</sup>)</b>	5,80
<b>Coefficiente <math>C_{SB}</math> real</b>	0,055
<b>Velocidad del vapor para inundación, <math>v_{nf}</math> (m/s)</b>	0,251
<b>Porcentaje de seguridad (%)</b>	80,00
<b>Velocidad del vapor real (m/s)</b>	0,201
<b>Diámetro de la torre (m)</b>	4,22

Por tanto, se utiliza una columna de destilación de 4,22 metros de diámetro y 30 metros de altura, aproximadamente, al considerar 52 platos, un espaciado entre ellos de 0,5 m y la altura del líquido en el fondo y del soporte.

A continuación, se dimensiona la bandeja y se presentan los valores en la Tabla 2.18.

Tabla 2.18. Cálculo del diámetro de la torre de la torre T-401

Parámetro	Valor
Área transversal de la bandeja $A_T$ (m <sup>2</sup> )	13,97
Área neta disponible para la separación, $A_n$ (m <sup>2</sup> )	12,29
Área activa o de burbujeo, $A_a$ (m <sup>2</sup> )	10,61
Área de los orificios, $A_h$ (m <sup>2</sup> )	1,12
Área transversal de la bajante, $A_d$ (m <sup>2</sup> )	1,68

Finalmente, se lleva a cabo la comprobación del diseño analizando los derrames y el tiempo de residencia del líquido en la bajante. Comenzando por el primero, se determina el primer término para su cálculo y se muestran los resultados en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19. Cálculo de la caída de presión  $\Delta P_{dry}$  T-401

Parámetro	Valor
Caudal del vapor, $Q_v$ (m <sup>3</sup> /s)	2,47
Velocidad del vapor por orificios, $v_h$ (m/s)	2,21
Relación $A_h/A_a$	0,10
Espesor plato (mm)	1,88
Diámetro orificio (mm)	4,76
Relación espesor plato/ $d_h$	0,40
Coefficiente de orificio, $C_o$	0,72
Caída de presión $\Delta P_{DRY}$ , (cm)	2,16

Y, a continuación, se determina el segundo término y el valor total, presentados sus resultados en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20. Cálculo de la caída de presión  $h_a$  T-401

Parámetro	Valor
Altura del rebosadero, $h_w$ (cm)	5,08
Caudal de líquido, $q$ (L/s)	0,11
Longitud del rebosadero (m)	3,20
Capa de líquido sobre rebosadero, $h_{ow}$ (cm)	7,01
Parámetro de flujo de vapor, $F_{SA}$	1,11
Factor de aireación, $Q_P$	0,63
Caída de presión $h_a$ (cm)	7,62
$\Delta P_{TOTAL}$ (cm)	9,78
$\Delta P_{TOTAL}$ (kPa)	25,0

Por último, se corrobora el diseño con la comprobación del punto en una zona superior de la curva correspondiente en la Figura 2.7 y con el tiempo de residencia del líquido en la bajante superior a 3 segundos presentando los valores en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21. Factores de comprobación T-401

Parámetro	Valor
Pérdida de carga $h_{\sigma}$ , (cm)	0,10
Velocidad del líquido en la bajante, $v_d$ (m/s)	0,06
Tiempo de residencia del líquido (s)	7,84

### 3. INTERCAMBIADOR DE CALOR

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

Muchas aplicaciones de ingeniería química precisan el intercambio de calor entre corrientes que se encuentran a diferente temperatura. Esta transferencia de energía se produce en los intercambiadores de calor, equipos por los que circulan dos corrientes separadas por una pared sólida con el objetivo de aumentar la energía calorífica de una con la consecuente disminución de la otra (Incropera, y otros, 1999).

Con el propósito del estudio de este equipo y la selección del más adecuado para este proyecto, se inicia el análisis presentando el fundamento teórico de estos dispositivos, sus diversas alternativas de funcionamiento y estructura así como las ecuaciones y gráficas utilizadas para su diseño. Finalmente, se presentan los valores calculados de los parámetros representativos como son el área de intercambio de energía, el tipo de intercambiador de calor, el fluido refrigerante o calefactor utilizado para el intercambio de calor, las dimensiones y los detalles mecánicos.

#### 3.2. ALTERNATIVAS DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de un intercambiador de calor se basa en el intercambio de energía entre dos fluidos en movimiento. Una simple clasificación de estos equipos se lleva a cabo por medio de la dirección y sentido del flujo de las dos corrientes (Kreith, y otros, 2013).

De esta manera, se puede diferenciar entre:

Flujo paralelo: las dos corrientes circulan en la misma dirección y, según circulen también en el mismo sentido, o no, cabe contemplar dos variantes.

- Corriente directa: Se produce un gradiente de temperatura elevado al inicio porque entran en contacto las dos corrientes a su temperatura inicial por el mismo extremo, pero va disminuyendo a medida que avanzan por el intercambiador.
- Contracorriente: El gradiente de temperatura no presenta tanta variación, es más constante durante todo el proceso de intercambio de energía porque cada corriente entra por un extremo diferente.

Flujo cruzado: Las dos corrientes presentan direcciones de flujo perpendiculares y se diferencian las alternativas de mezclado y no mezclado en función de la existencia de aletas o conducciones que impidan una mezcla completa del fluido por la conducción (Kreith, y otros, 2013).



También destacar la existencia de intercambiadores de calor con nombres y estructuras específicas según la función que desempeñan (Sinnott, 2005).

- Intercambiadores de calor: utilizados para el calentamiento o enfriamiento de corrientes.
- Condensadores: utilizados para la obtención de un líquido a partir de uno o mezcla de vapores.
- Rehervidores: con aplicación destacada en las columnas fraccionadoras para la destilación.
- Calderas: para la producción de vapor.
- Torres de enfriamiento.
- Regeneradores.

### 3.3. TIPOS DE INTERCAMBIADORES

En función de la estructura que presentan para producir el intercambio de energía cabe diferenciar las siguientes alternativas (Sinnott, 2005).

- Intercambiador de doble tubo: uno de los tubos se sitúa en el interior del otro de manera que la superficie de contacto entre fluidos es el área lateral del tubo interno. La principal aplicación reside en la calefacción o refrigeración de corrientes.
- Intercambiador de carcasa y tubos: compuesto por una serie de tubos por los que circula un fluido situados en el interior de un recipiente o carcasa, por la que circula el otro. Esta estructura dota a esta alternativa de multitud de aplicaciones.
- Intercambiador de placas: formado por una serie de placas unidas, a través de las cuales circulan las dos corrientes de manera alternativa para no mezclarse. Su principal aplicación es, también, la calefacción y refrigeración de fluidos y presenta una variante en función de la existencia de aletas.
- Intercambiador de calor en espiral: los fluidos describen una trayectoria en espiral mientras se produce el intercambio de energía entre ellos. Aplicaciones menos frecuentes en la industria.
- Otras variantes como la refrigeración con aire en condensadores o enfriadores, el contacto directo de dos fluidos para el intercambio de energía sin pared sólida que los separen y los calentadores de llama.

A la hora de la selección del intercambiador de calor óptimo para este proyecto no cabe duda para el caso de la condensación del vapor resultante del reactor, pues el de carcasa y tubos es el adecuado. En cambio, para el calentamiento anterior a la destilación y el enfriamiento posterior a la misma de las corrientes de proceso existen más alternativas como se presentó anteriormente. Se decide por el mismo tipo de intercambiador, el de carcasa y tubos, por los motivos que se exponen a continuación (Sinnott, 2005):

- Gran relación área superficial/volumen.
- Posibilidad de trabajar a presiones elevadas por su buen diseño mecánico.
- Proceso de fabricación conocido y ampliamente desarrollado por su uso común en la industria.
- Gran variedad de alternativas en el material de construcción.
- Limpieza sencilla mediante la extracción de los cabezales.
- Procedimiento de diseño muy desarrollado.

Por tanto, los intercambiadores de calor de la planta de producción de isooctano, tanto el que presenta la función de condensar los vapores resultantes de reacción como los existentes en las columnas de destilación y los refrigerantes o calefactores de corrientes de proceso, son del tipo carcasa y tubos.

### 3.3.1. ESTRUCTURA DEL INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBOS

Los intercambiadores de calor presentes en este proyecto se caracterizan por poseer un haz de tubos situados en el interior de una carcasa que los recoge. Así, la superficie de transferencia de calor es el área lateral de los tubos. En este tipo de intercambiador, se puede diseñar su estructura de manera que exista un único o varios pasos del fluido tanto a través de los tubos como de la carcasa. Para ello, se acoplan láminas seccionadoras en los cabezales con el objetivo de aumentar este número de pasos, incrementando tanto la velocidad de paso del fluido como del área de intercambio. A esta lámina se acoplan los extremos del tubo para impedir la mezcla entre fluidos. Respecto a la carcasa, la utilización de deflectores obliga al fluido que circula de manera externa a los tubos a permanecer más tiempo en ella y realizando un zig-zag, favoreciendo así la transmisión de energía (Kreith, y otros, 2013).

Se presentan, a continuación, en la Figura 3.1, los tipos de este intercambiador de calor en función de los cabezales y la carcasa elegida.

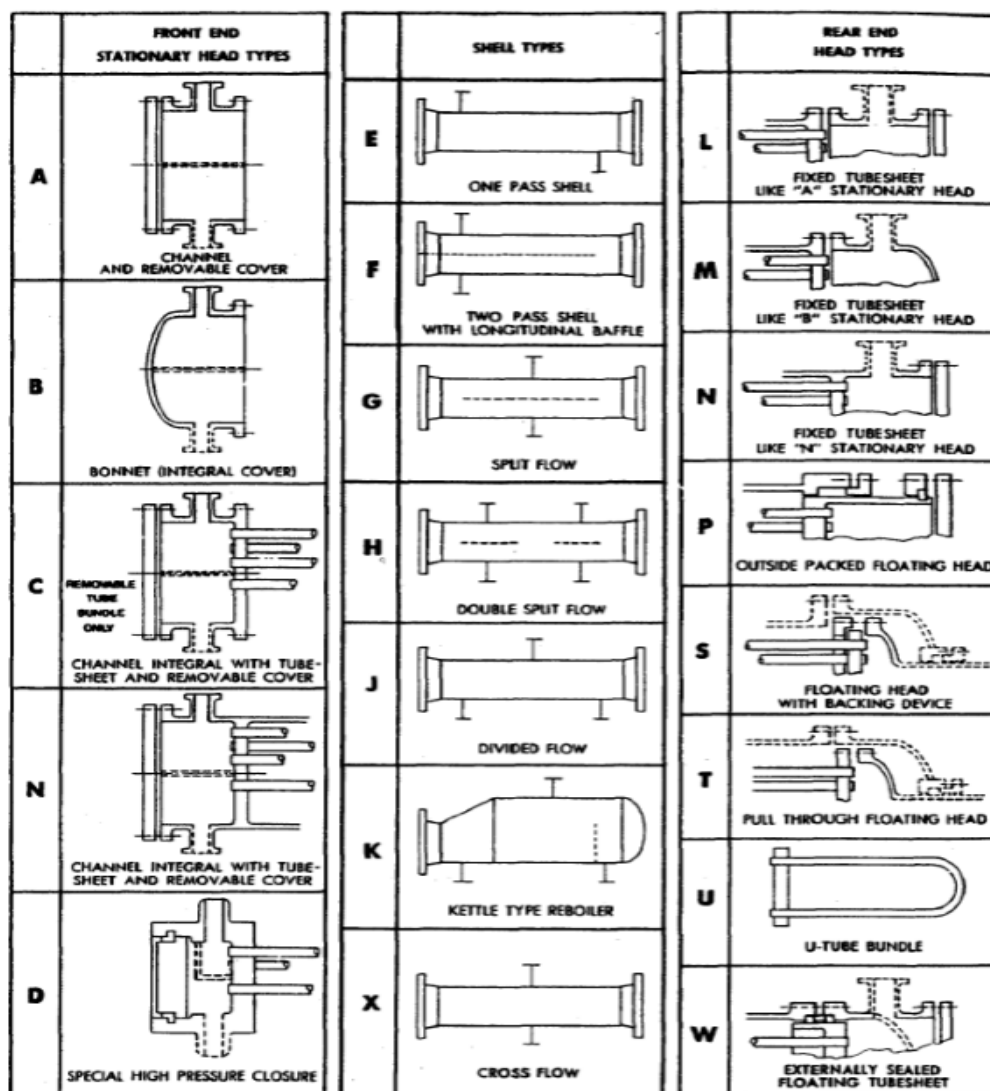


Figura 3.1. Tipos de carcasa y cabezales de un intercambiador de calor. Fuente: (Sinnott, 2005)

Destacar los más habituales en la industria, resumidos en los tipos:

- AEP, intercambiador de calor con cabezal externo flotante con prensaestopa.
- AES, intercambiador de calor con cabezal interno flotante con abrazaderas anulares.
- AET, intercambiador de calor con cabezal interno flotante sin abrazaderas anulares.
- AKU, caldera calefactora con haz de tubos en U.
- BEM, intercambiador de calor plano de tubos fijados.
- BEU, intercambiador de calor de tubos en U.

### 3.4. CARACTERIZACIÓN DE CORRIENTES

Para comenzar el diseño de un equipo de intercambio de calor es necesario establecer, en primer lugar, el fluido que se utiliza como refrigerante o calefactor y la temperatura de entrada del mismo. Se requiere un conocimiento detallado de las propiedades del fluido a la hora de su selección para la posterior determinación de su caudal y la decisión de la zona de circulación. Para esto último, es decir, conocer el fluido que debe circular por los tubos y cual lo hace por carcasa se valoran una serie de aspectos (Sinnott, 2005).

- Por los tubos debe circular el fluido que se encuentre a mayor presión y más corrosivo al presentar menor coste de fabricación.
- También por tubos debe fluir el compuesto con más tendencia al ensuciamiento por el mejor control de la velocidad y el valor más elevado de esta que reduce el problema. Además de la mayor facilidad de limpieza.
- El de mayor temperatura debe circular por tubos para reducir las pérdidas con el exterior.
- Se eligen los tubos para la circulación del fluido que requiera una menor caída de presión, pues, para el mismo valor, presenta mayor coeficiente de transferencia de energía.
- Se selecciona por carcasa el fluido de menor caudal por criterios económicos.

En cambio, se presentan ciertos casos donde prevalecen las siguientes consideraciones:

- Si se produce un cambio de fase total de un fluido, este se conduce por la carcasa, exceptuando los reboilers de las columnas donde el vapor de calefacción circula por el interior de los tubos.
- Si se produce una condensación parcial, esta se lleva a cabo en el interior de tubos horizontales con el objetivo de evitar la acumulación en la carcasa tanto del vapor como del líquido.

### 3.5. DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR

El dimensionamiento y el diseño mecánico de los intercambiadores de calor de la planta de producción de isooctano se llevan a cabo siguiendo las directrices del *British Standard, BS 3274*, en combinación con los estándares TEMA (American Tubular Heat Exchanger Manufacturers Association), ambos utilizados universalmente.

### 3.5.1. CÁLCULO DE LA ENERGÍA TRANSFERIDA

Con el objetivo del cálculo del caudal de fluido refrigerante o calefactor a introducir en el intercambiador de calor y el área necesaria para esa transferencia, es imprescindible la determinación de la energía a suministrar o retirar del fluido de proceso. Por ello, se presenta la ecuación (3.1).

$$Q = m_f C_{p_f} \Delta T_f + m_f \lambda_f X_f \quad (3.1)$$

Donde el primer término de la suma representa el calor latente necesario para elevar o disminuir la temperatura del fluido mientras que, el segundo término, representa la energía requerida, si es necesaria, para la evaporación o condensación del fluido, según proceda. Analizando los términos:

- $Q$  = energía necesaria a aportar o retirar del fluido, W
- $m_f$  = caudal másico del fluido introducido en el intercambiador de calor, kg/s
- $C_{p_f}$  = capacidad calorífica del fluido., J/kg.°C
- $\Delta T_f$  = diferencia de temperatura del fluido, °C
- $\lambda_f$  = entalpía de evaporación o condensación del fluido, J/kg
- $X_f$  = fracción del fluido que cambia de fase

Comentar que el calor específico no es contante, pero se toma el valor correspondiente a la temperatura media y se simplifica la supuesta integral en el cálculo del calor intercambiado. De esta manera se obtiene el calor intercambiado y, con la misma ecuación, se calcula el caudal másico necesario de fluido refrigerante o calefactor. Para ello, se tiene en cuenta que, al ponerse en contacto las dos corrientes, el calor que cede una de ellas es absorbido en su totalidad por la otra, con lo cual, la ecuación resultante se presenta numerada como (3.2).

$$Q = m_{f_1} C_{p_{f_1}} \Delta T_{f_1} + m_{f_1} \lambda_{f_1} X_{f_1} = m_{f_2} C_{p_{f_2}} \Delta T_{f_2} + m_{f_2} \lambda_{f_2} X_{f_2} \quad (3.2)$$

Donde los subíndices 1 y 2 denotan las dos corrientes que intercambian energía en el equipo.

### 3.5.2. CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO

El objetivo principal de esta sección es el diseño de los intercambiadores de calor necesarios para la transferencia de energía entre corrientes. Por tal motivo, una vez establecida cuantitativamente esta energía, se determina el área necesaria del equipo para llevar a cabo el proceso de intercambio. Con tal motivo, se presenta la ecuación general de transferencia de energía a través de una superficie (3.3)

$$Q = UA \Delta T_{ml} \quad (3.3)$$

Donde  $Q$  es la energía intercambiada (W),  $U$  es el coeficiente global de transferencia de energía (W/m<sup>2</sup>.°C),  $A$  es el área de intercambio de calor (m<sup>2</sup>) y  $\Delta T_{ml}$  la diferencia de temperatura media logarítmica (°C). Por tanto, es necesario el conocimiento de los dos parámetros restantes para la determinación del área de intercambio, los cuales se analizan a continuación.

### 3.5.2.1 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

Este parámetro representa la facilidad o dificultad que presentan dos compuestos para intercambiar energía en función de su naturaleza (Sinnott, 2005).

Su determinación se lleva a cabo por la ecuación (3.4).

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_o \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2k_w} + \frac{d_o}{d_i} \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_o}{d_i} \frac{1}{h_i} \quad (3.4)$$

Donde:

- $U_o$ , coeficiente global de transferencia de energía basado en el área externa del tubo,  $W/m^2.K$
- $h_o$ , coeficiente individual de transmisión de calor externo,  $W/m^2.K$
- $h_{od}$ , coeficiente de ensuciamiento externo,  $W/m^2.K$
- $d_o$ , diámetro externo del tubo, m
- $d_i$ , diámetro interno del tubo, m
- $k_w$ , conductividad térmica del material de construcción del tubo,  $W/m.K$
- $h_{id}$ , coeficiente de ensuciamiento interno,  $W/m^2.K$
- $h_i$  coeficiente individual de transmisión de calor interno,  $W/m^2.K$

El procedimiento de cálculo de este valor es iterativo. Se asume un valor del coeficiente global de transferencia de energía en función de los fluidos que circulan por el intercambiador según la Tabla 3.1. A continuación establecen los valores de los coeficientes de ensuciamiento mediante la Tabla 3.2 y se determinan los coeficientes individuales de transferencia de calor, tanto el interno como el externo. Estos parámetros dependen de diversos factores como las propiedades del fluido, la disposición de la superficie de intercambio de energía y los caudales tratados, entre otras. Se recalcula el valor de  $U_o$  y se repite el algoritmo hasta alcanzar un valor que difiera menos de un 30% con respecto a la iteración anterior y el valor obtenido sea superior al supuesto para asegurar la transferencia de energía (Sinnott, 2005).

Por simplificación de los cálculos se presentan sólo los valores de la iteración final posteriormente para el caso de los intercambiadores de calor existentes en la planta.

Tabla 3.1. Valores de  $U_o$  en función del fluido. Fuente: (Sinnott, 2005)

Shell and Tube Exchangers		
Hot Fluid	Cold Fluid	$U$ ( $W/m^2\text{C}$ )
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250–750
Light oils	Water	350–900
Heavy oils	Water	60–300
Gases	Water	20–300
Organic solvents	Brine	150–500
Water	Brine	600–1200
Gases	Brine	15–250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500–4000
Steam	Organic solvents	500–1000
Steam	Light oils	300–900
Steam	Heavy oils	60–450
Steam	Gases	30–300
Dowtherm	Heavy oils	50–300
Dowtherm	Gases	20–200
Flue gases	Steam	30–100
Flue	Hydrocarbon vapors	30–100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapors	Water	1000–1500
Organic vapors	Water	700–1000
Organics (some noncondensables)	Water	500–700
Vacuum condensers	Water	200–500
<i>Vaporizers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000–1500
Steam	Light organics	900–1200
Steam	Heavy organics	600–900

Tabla 3.2. Factor de ensuciamiento en función del compuesto. Fuente: (Sinnott, 2005)

Fluid	Coefficient ( $W/m^2\text{C}$ )	Factor (resistance) ( $m^2\text{C}/W$ )
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapours	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

### 3.5.2.2 DIFERENCIA DE TEMPERATURA MEDIA LOGARÍTMICA

Con el objetivo de la determinación del coeficiente global de transferencia de energía según la ecuación (3.3) mediante un proceso iterativo es necesario el cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica, explicada como la fuerza impulsora del intercambio de calor. Para ello, estableciendo un flujo en contracorriente de los compuestos por cuestiones de eficiencia del proceso, este parámetro se calcula según la ecuación (3.5) (Sinnot, 2005).

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left( \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \right)} \quad (3.5)$$

Donde  $\Delta T_{ml}$  es la diferencia de temperaturas media logarítmica, T denota la temperatura del fluido caliente (°C), t la del frío (°C) y los subíndices 1 y 2 representan, respectivamente, la entrada y la salida de estos compuestos en el intercambiador.

Sin embargo, es necesario analizar la geometría del equipo. El compuesto que fluye por el interior de los tubos presenta una única dirección durante su paso por el intercambiador, con pequeñas variaciones en un extremo en el caso de tratarse de tubos de U. En cambio, el compuesto que circula por la carcasa describe diferentes trayectorias con el objetivo de permanecer el tiempo suficiente para la transferencia de energía. Con ello, se explica la necesidad de un factor de corrección para considerar el flujo que realmente se produce en el equipo, siendo este una mezcla de contracorriente, paralelo y cruzado (Sinnot, 2005).

Así, la diferencia de temperaturas media logarítmica real se determina con la ecuación (3.6).

$$\Delta T_m = \Delta T_{ml} F_t \quad (3.6)$$

Donde  $\Delta T_m$  es la diferencia de temperatura media logarítmica real y  $F_t$  el factor de corrección, el cual se calcula con la Figura 3.2, para el caso de un paso por carcasa y dos o más por tubos, o con la Figura 3.3 para dos pasos por carcasa y dos o más por tubos. Este factor es función, además del número de pasos, de las temperaturas de entrada y salida de los fluidos. Si presenta un valor menor de 0,75 es necesario cambiar el diseño del intercambiador.



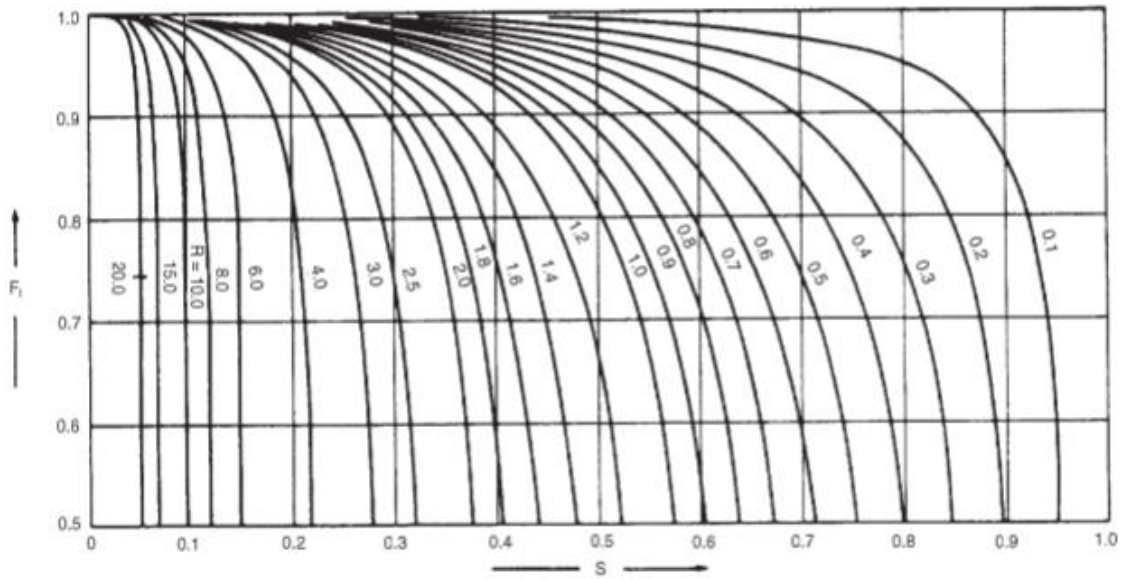


Figura 3.2. Cálculo del factor  $F_t$  para un paso por carcasa y dos o más por tubos

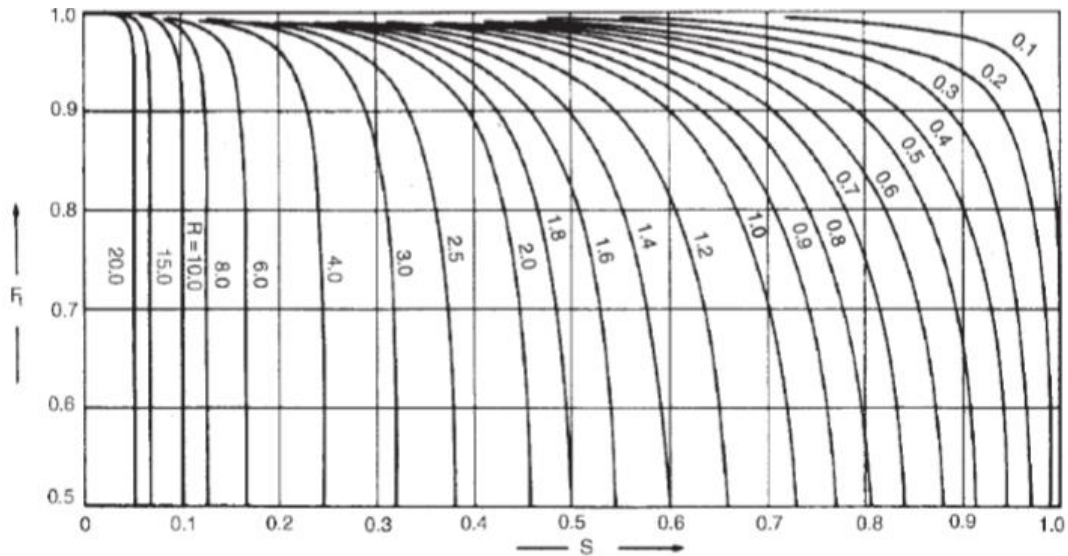


Figura 3.3. Cálculo del factor  $F_t$  para dos pasos por carcasa y dos o más por tubos

Donde  $R$  y  $S$  son coeficientes adimensionales que se determinan con las ecuaciones (3.7) y (3.8), respectivamente.

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} \quad (3.7)$$

$$S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \quad (3.8)$$

Donde  $R$  y  $S$  son los parámetros para el conocimiento del factor  $F_t$ ,  $T$  es la temperatura del fluido caliente ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t$  la del frío ( $^{\circ}\text{C}$ ) y los subíndices 1 y 2 representan, respectivamente, la entrada y la salida de estos compuestos en el intercambiador.

### 3.5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR

Las normas TEMA destinadas al diseño de intercambiadores de calor establecen rangos de valores de los parámetros más destacados de su diseño y ecuaciones para su dimensionamiento.

#### 3.5.3.1 TUBOS

Primeramente, conocida el área de transferencia de energía necesaria, se dimensionan los tubos para obtener ese valor. Se establece un valor permitido para su diámetro comprendido entre 5/8 y 2 in (16 y 50 mm), siendo el rango óptimo el de 5/8-1 in (16-50 mm) para el diseño de equipos de transferencia de calor más compactos, es decir, reduciendo el coste (Sinnott, 2005).

El espesor que poseen los tubos debe ser suficiente para resistir las presiones interna y externa, así como la corrosión. Este parámetro se establece según la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Espesor de los tubos en función del diámetro. Fuente: (Sinnott, 2005)

Outside diameter (mm)		Wall thickness (mm)				
16	1.2	1.6	2.0	—	—	
20	—	1.6	2.0	2.6	—	
25	—	1.6	2.0	2.6	3.2	
30	—	1.6	2.0	2.6	3.2	
38	—	—	2.0	2.6	3.2	
50	—	—	2.0	2.6	3.2	

En lo referido a la longitud de los tubos, también existen medidas preferentes, las cuales se resumen en 1,83 m, 2,44 m, 3,66 m, 4,88 m, 6,10 m y 7,32 m. Es necesario considerar que, a medida que la longitud de los tubos aumenta, se reduce el diámetro de la carcasa, al precisar menor número de los primeros a contener en el interior de la segunda. La relación óptima entre la longitud de los tubos y el diámetro de la carcasa es de 5-10:1. Para comenzar el diseño, 19 mm de diámetro externo es un buen valor y, tras suponer una longitud, se determina el área de intercambio de calor de un tubo con la ecuación (3.9) (Sinnott, 2005).

$$A_t = \pi d_o L \quad (3.9)$$

Donde  $A_t$  es el área de intercambio de energía de un tubo ( $\text{m}^2$ ),  $d_o$  se corresponde con el diámetro externo del tubo (m) y  $L$  su longitud (m).

Conocida el área necesaria para la transferencia de energía y el área de intercambio de calor de cada tubo, se calculan los tubos necesarios con la ecuación (3.10).

$$N = \frac{A}{A_t} \quad (3.10)$$

Donde  $N$  es el número de tubos,  $A$  es el área total necesaria ( $\text{m}^2$ ) y  $A_t$  el área de cada tubo ( $\text{m}^2$ ).

Es necesario decidir el número de pasos del fluido por los tubos, parámetro muy influyente en la velocidad del fluido que circula por ellos. Este valor puede variar entre un único paso y 16, según proceda. Los más habituales se resumen en la Figura 3.4 mediante la representación de los cabezales.

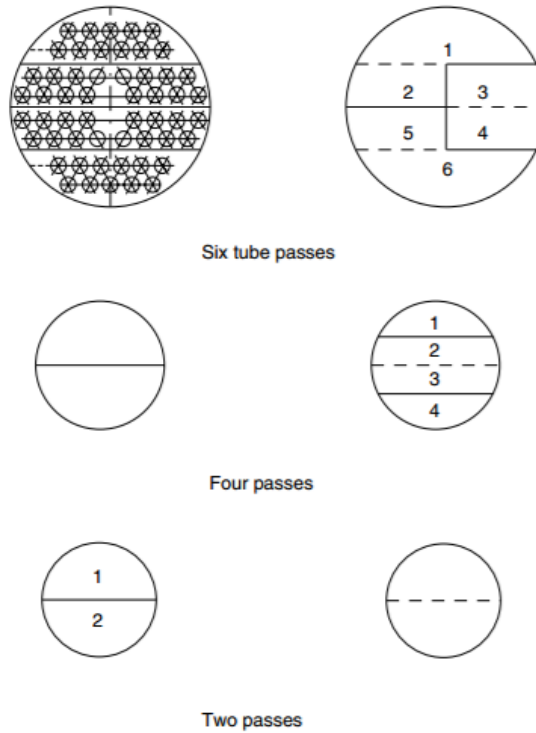


Figura 3.4. Cabezales según el número de pasos. Fuente: (Sinnot, 2005)

Una vez establecido este parámetro, se determina el número de tubos por paso según la ecuación (3.11).

$$N_t = \frac{N}{N_p} \quad (3.11)$$

Donde  $N_t$  es el número de pasos por tubo,  $N$  el número de tubos y  $N_p$  el número de pasos.

Se finaliza el dimensionamiento de los tubos con la selección de la disposición de los mismos en la carcasa. En la industria cabe destacar la distribución triangular, la cuadrada y la cuadrada rotada, representadas en la Figura 3.5.

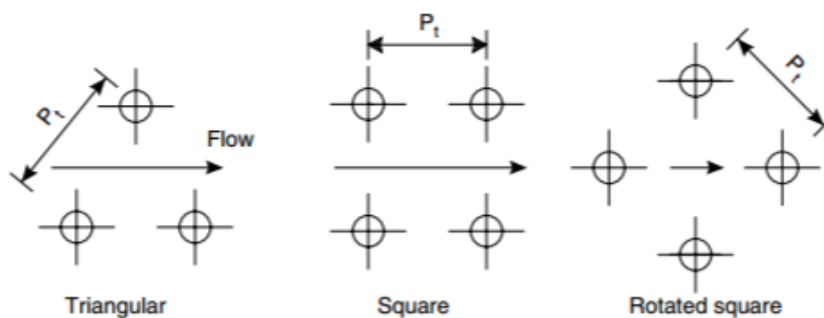


Figura 3.5. Disposición de los tubos en un intercambiador de calor. Fuente: (Sinnott, 2005).

Exceptuando las aplicaciones con fluidos que presentan elevado grado de ensuciamiento para las cuales, la disposición cuadrada y cuadrada rotada presentan mejores resultados, los tubos se disponen comúnmente de manera triangular, donde la distancia entre sus centros, se determina con la ecuación (3.12) (Sinnott, 2005).

$$p_t = 1,25d_o \quad (3.12)$$

Siendo  $p_t$  la distancia entre los centros de los tubos (m) y  $d_o$  el diámetro externo de ellos (m).

Conocidos el número de tubos y su disposición se determina el diámetro del haz de tubos con la ecuación (3.13).

$$D_b = d_o \left( \frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}} \quad (3.13)$$

Donde  $D_b$  es el diámetro del haz de tubos (m),  $N_t$  es el número de tubos y  $K_1$  y  $n_1$  son parámetros dependientes del número de pasos y la disposición de los tubos determinados con la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Parámetros  $K_1$  y  $n_1$  de la ecuación (1.13). Fuente: (Sinnott, 2005)

Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
$n_1$	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
$n_1$	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

### 3.5.3.2 CARCASA

Tras establecer el valor del diámetro del haz de tubos, se establece el valor del espacio necesario que debe existir entre el haz y la carcasa. El diámetro interno debe ser adecuado para evitar que el líquido que circula por el exterior de los tubos puentee el haz, es decir, pase sin intercambiar calor con él al no contactar. Por ello, el valor que se añade al diámetro del haz de tubos se determina con la Figura 3.6 en función del tipo de cabezales que posea el intercambiador de calor (Sinnott, 2005).

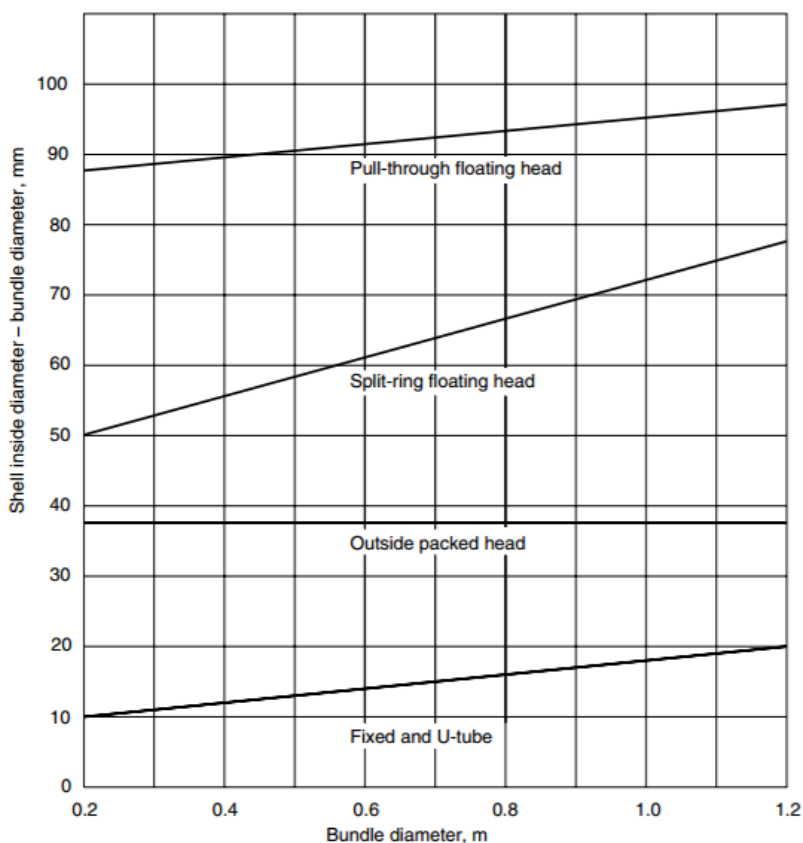


Figura 3.6. Espaciado entre el haz de tubos y la carcasa. Fuente: (Sinnott, 2005)

Por tanto, el diámetro de carcasa se calcula según la ecuación (3.14).

$$D_s = D_h + D_b \quad (3.14)$$

Donde  $D_s$  es el diámetro de la carcasa (m),  $D_h$  es el espaciado entre el haz de tubos y la carcasa (m) y  $D_b$  es el diámetro del haz de tubos (m).

Conocido el diámetro de la carcasa se puede establecer el espesor mínimo que se requiere para su construcción como se presenta en la Tabla 3.5 para diferentes aceros.

Tabla 3.5. Espesor de carcasa mínimo. Fuente: (Sinnott, 2005)

Nominal shell dia., mm	Carbon steel pipe	Carbon steel plate	Alloy steel
150	7.1	—	3.2
200–300	9.3	—	3.2
330–580	9.5	7.9	3.2
610–740	—	7.9	4.8
760–990	—	9.5	6.4
1010–1520	—	11.1	6.4
1550–2030	—	12.7	7.9
2050–2540	—	12.7	9.5

De igual manera que ocurriría con los tubos, la carcasa puede presentar varios pasos, es decir, el fluido que circula por el exterior de los tubos puede recorrer la carcasa en una o varias ocasiones según la geometría del intercambiador. Un aumento del número de pasos por carcasa se lleva a cabo por motivos de velocidad, es decir, cuando las diferencias de temperatura que se desean obtener son elevadas para un único paso el fluido calefactor circularía a demasiada velocidad. Existen diferentes alternativas en la construcción de la carcasa en función de este parámetro como se presenta en la Figura 3.1 (Sinnott, 2005).

Dentro de la carcasa se sitúan deflectores con el objetivo de mejorar la transferencia de energía y servir de soporte a los tubos. Entre las alternativas que existen en el mercado cabe destacar los segmentados cuyo corte se encuentra comprendido entre 15 y 45%, entendiendo como tal, la altura del segmento eliminado para formarlo con respecto al diámetro de la circunferencia. Se establece el óptimo entre 20 y 25% por motivo de la elevada relación que presenta entre la velocidad de transferencia y la pérdida de presión. Por tanto, para conocer el número de deflectores óptimo se utiliza la ecuación (3.15) para establecer el distanciamiento entre ellos y, posteriormente, la ecuación (3.16), para determinar la cantidad de los mismos a disponer en el intercambiador.

$$l_b = D_s z \quad (3.15)$$

Donde  $l_b$  es el espaciado entre los deflectores (m),  $D_s$  el diámetro de la carcasa (m) y  $z$  un parámetro comprendido entre 0,2 y 1, situándose el óptimo entre 0,3 y 0,5.

$$N_{deflectores} = \frac{L}{l_b} - 1 \quad (3.16)$$

Donde  $N_{deflectores}$  es el número de deflectores,  $L$  la longitud de los tubos (m) y  $l_b$  es el espaciado entre los deflectores (m).

Finalmente, se determina el área de flujo axial y el diámetro equivalente para disposición triangular y cuadrada con las ecuaciones (3.17), (3.18) y (3.19), respectivamente.

$$A_s = \frac{(p_t - d_o)D_s l_B}{p_t} \quad (3.17)$$

$$d_e = \frac{1,1}{d_o} (p_t^2 - 0,917 d_o^2) \quad (3.18)$$

$$d_e = \frac{1,27}{d_o} (p_t^2 - 0,785 d_o^2) \quad (3.19)$$

Donde  $A_s$  es el área de flujo cruzado ( $m^2$ ),  $d_e$  representa el diámetro equivalente (m)  $p_t$  la distancia entre los centros de los tubos (m),  $l_b$  el espaciado entre deflectores y  $d_o$  y  $D_s$  el diámetro externo de los tubos y el diámetro interno de la carcasa, respectivamente (m).

### 3.5.4. VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN

Con el objetivo de mejorar la transferencia de calor y reducir el ensuciamiento del equipo, los fluidos deben circular a una velocidad elevada en el intercambiador de calor. Sin embargo, este valor se limita por la caída de presión y la erosión. Por tanto, es necesario analizar el intervalo óptimo para el diseño del intercambiador, presentado en la Tabla 3.6 en función del fluido y el lugar por donde fluya.

Tabla 3.6. Rango de velocidades recomendadas Fuente: (Sinnott, 2005)

Fluido	Rango de velocidad (m/s)
Agua por tubos	1,5-2,5
Agua por carcasa	0,3-1
Fluidos de proceso	1-2
Vapor a vacío	50-70
Vapor a 1atm	10-30
Vapor a presión elevada	5-10

Se comienza el análisis por los tubos, donde la velocidad de los reactivos se calcula siguiendo la ecuación (3.20).

$$v_t = \frac{Q_t}{A_t} \quad (3.20)$$

Donde  $v_t$  es la velocidad de circulación del fluido a través de los tubos (m/s),  $Q_t$  el caudal volumétrico que circula por ellos ( $m^3/s$ ) y  $A_t$  el área transversal de los tubos ( $m^2$ ).

Por su parte, la velocidad de circulación de la corriente por la carcasa se calcula según la expresión (3.21).

$$v_c = \frac{Q_c}{A_s} \quad (3.21)$$

Donde  $v_c$  es la velocidad de circulación del fluido a través de la carcasa (m/s),  $Q_c$  el caudal volumétrico que circula por ella (m<sup>3</sup>/s) y  $A_s$  el área de flujo cruzado (m<sup>2</sup>), el cual se determina con la ecuación (3.17).

### 3.5.5. COEFICIENTES INDIVIDUALES DE TRANSMISIÓN DE CALOR

Una vez diseñado el equipo, es necesario llevar a cabo un proceso iterativo hasta obtener la convergencia en el coeficiente global de transferencia de energía. Para ello, se calculan los coeficientes individuales de transmisión de calor interno y externo (Sinnott, 2005).

En lo que respecta al interno, la ecuación para su determinación es la (3.22).

$$Nu = \frac{h_i d_i}{k_f} \quad (3.22)$$

Donde  $Nu$  es el número de Nusselt,  $h_i$  el coeficiente individual de transferencia de energía interno (W/m<sup>2</sup>.K),  $d_i$  el diámetro interno (m) y  $k_f$  la conductividad térmica del fluido (W/m.K). Por tanto, el único parámetro a calcular para la determinación del coeficiente de transmisión es el Nusselt, cuya ecuación se presenta numerada como (3.23).

$$Nu = j_h Re Pr^{0,33} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (3.23)$$

Donde  $Nu$  es el número de Nusselt,  $j_h$  es el coeficiente de transferencia de calor en los tubos, determinado con la Figura 3.7,  $Re$  es el número de Reynolds determinado según la ecuación (3.24),  $Pr$  es el Prant, calculado con la ecuación (3.25) y  $\mu$  y  $\mu_w$  son la viscosidad del fluido a la temperatura media de los tubos y de la pared, respectivamente (Pa.s).



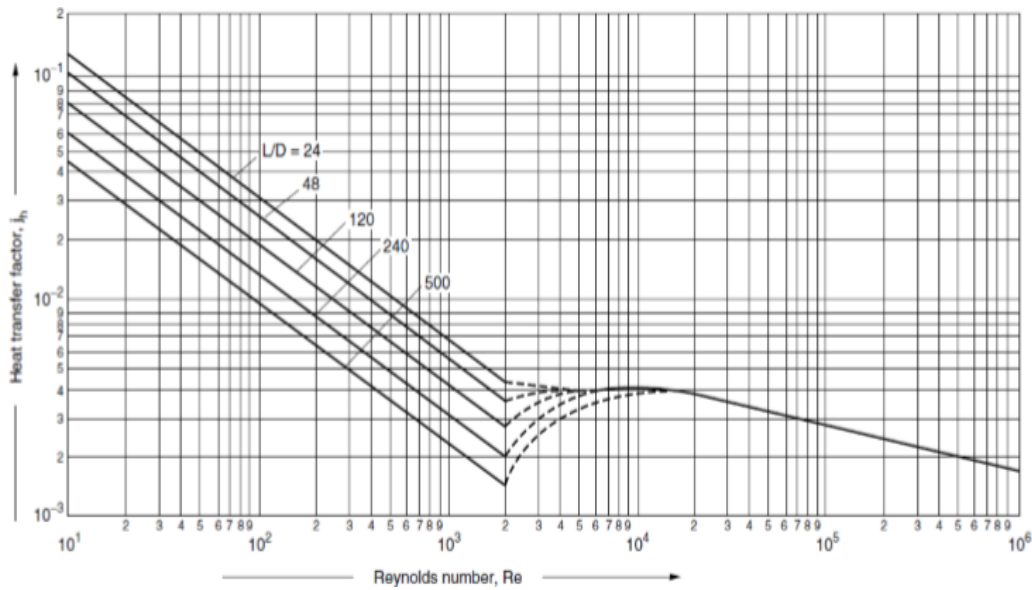


Figura 3.7. Factor de transmisión de calor interno. Fuente: (Sinnott, 2005)

$$Re = \frac{\rho d_i v_t}{\mu} \quad (3.24)$$

Donde  $Re$  es el número de Reynolds,  $\rho$  la densidad del fluido que circula por tubos ( $\text{kg/m}^3$ ),  $d_i$  el diámetro interno de los tubos (m),  $v_t$  la velocidad del fluido (m/s) y  $\mu$  su viscosidad (Pa.s)

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k_f} \quad (3.25)$$

Donde  $Pr$  es el número de Prant,  $C_p$  es el calor específico del fluido que circula por los tubos ( $\text{J/kg.K}$ ),  $\mu$  su viscosidad (Pa.s) y  $k_f$  su conductividad térmica ( $\text{W/m.K}$ ).

Por su parte, el coeficiente individual de transmisión de calor externo se determina por el método Kern. Este método utiliza la ecuación (3.26) para hallar este parámetro.

$$Nu = \frac{h_s d_{eq}}{k_f} \quad (3.26)$$

Donde  $Nu$  es el número de Nusselt,  $h_s$  el coeficiente individual de transferencia de energía externo ( $\text{W/m}^2.\text{K}$ ),  $d_{eq}$  el diámetro equivalente de la carcasa (m) y  $k_f$  la conductividad térmica del fluido ( $\text{W/mK}$ ).

Para el cálculo del Nusselt, siguiendo la ecuación (3.23) se precisa el valor del factor de transferencia de calor  $j_h$ , determinado con la figura Figura 3.8 en función del Reynolds, calculado con la ecuación (3.27) y de la disposición de los tubos y el corte de los deflectores. El  $Pr$  se determina con la ecuación (3.25).

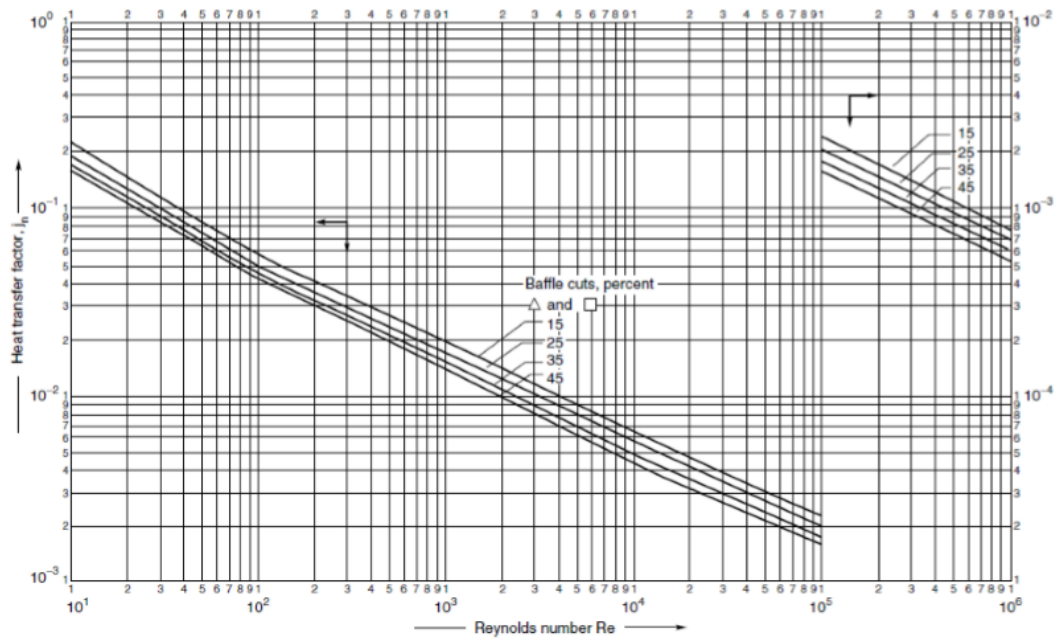


Figura 3.8. Factor de transmisión de calor externo. Fuente: (Sinnott, 2005)

$$Re = \frac{\rho d_{eq} v_s}{\mu} \quad (3.27)$$

Donde  $Re$  es el número de Reynolds,  $\rho$  la densidad del fluido que circula por carcasa ( $\text{kg/m}^3$ ),  $d_{eq}$  el diámetro equivalente de la carcasa,  $v_s$  la velocidad del fluido ( $\text{m/s}$ ) y  $\mu$  su viscosidad ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ).

Conocidos así los dos coeficientes de transmisión de energía, el interno y el externo, establecidos los coeficientes de ensuciamiento en función de los fluidos circulantes en el intercambiador y la conductividad térmica del material de construcción de los tubos se calcula el coeficiente global de transmisión de calor con la ecuación (3.4). Si presenta una diferencia con respecto al supuesto menor del 30% de éste se considera aceptable el valor, siempre que el valor obtenido sea superior al supuesto.

### 3.5.6. CAÍDA DE PRESIÓN

Para finalizar el diseño del equipo, se comprueba que la caída de presión sea aceptable tanto por el interior de los tubos como por la carcasa. Si estos valores son asumibles, el diseño del intercambiador de calor es correcto.

Se presenta, en primer lugar, en la Tabla 3.7, los valores aceptables de caída de presión en función de la naturaleza del fluido.

Tabla 3.7. Caída de presión asumible. Fuente: (Sinnott, 2005)

Fluido	Caída de presión (kPa)
Líquido ( $\mu < 1$ cp)	35
Líquido ( $1 < \mu < 10$ cp)	50 – 70
Vapor a vacío elevado	0,4 – 0,8
Vapor a vacío medio	0,1 P.absoluta
Vapor a 1-2 bar	0,5 P.manométrica
Vapor a presión > 10 bar	0,1 P.manométrica

En el caso de los tubos, comentar que las pérdidas de presión más destacadas en estas unidades se propician por fricción y por la contracción y expansión. Para el cálculo de este parámetro se utiliza la expresión (3.28).

$$\Delta P_t = N_p \left[ 8j_f \left( \frac{L}{d_i} \right) \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \left( \frac{\rho v_t^2}{2} \right) \quad (3.28)$$

Donde:

- $\Delta P_t$  es la caída de presión por los tubos (Pa).
- $N_p$  es el número de pasos.
- $j_f$  es el factor de fricción obtenido mediante la Figura 3.9.
- $L$  es la longitud de los tubos (m).
- $d_i$  es el diámetro interno de los tubos (m).
- $\mu$  y  $\mu_m$  son la viscosidad del fluido a la temperatura media de los tubos y de la pared, respectivamente (Pa.s).
- $m$  es una constante con valor de 0,25 para flujo laminar y 0,14 para turbulento.
- $\rho$  es la densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>).
- $v_t$  es la velocidad del fluido a través de los tubos (m/s).
- el término 2,5 se corresponde con cargas de velocidad adicionales por paso.

Si el valor resulta excesivo es necesario reducir la velocidad de circulación mediante tubos más largos o menor número de pasosa través de ellos.

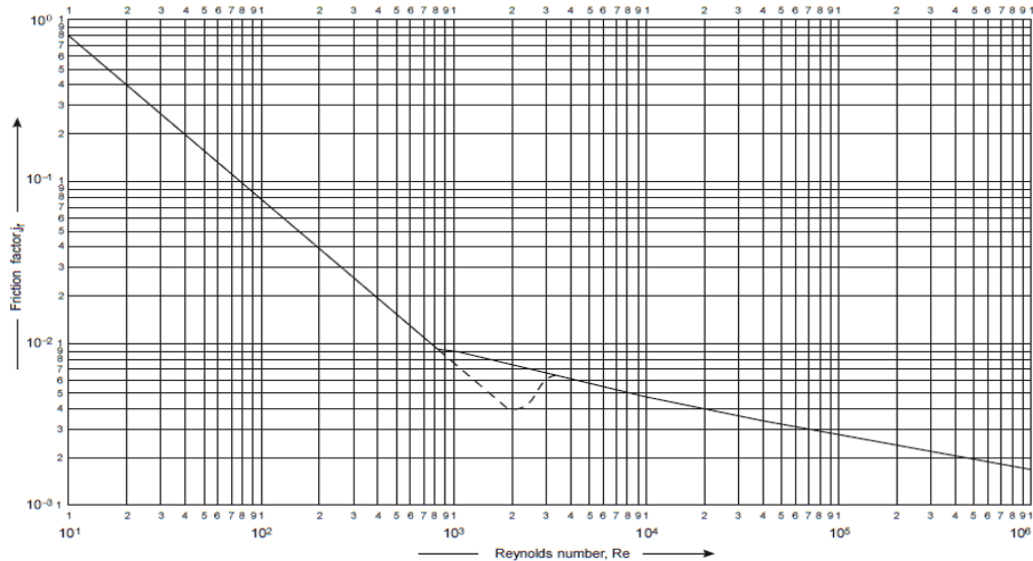


Figura 3.9. Factor de fricción de los tubos. Fuente: (Sinnott, 2005)

Por su parte, la caída de presión en la carcasa se determina con la ecuación (3.29).

$$\Delta P_s = 8j_f \left( \frac{L}{l_b} \right) \left( \frac{D_s}{d_{eq}} \right) \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \left( \frac{\rho u_s^2}{2} \right) \quad (3.29)$$

Donde:

- $\Delta P_s$  es la caída de presión por la carcasa (Pa).
- $j_f$  es el factor de fricción obtenido mediante la Figura 3.10.
- $L$  es la longitud de los tubos (m).
- $L_b$  es el espaciamiento entre deflectores (m).
- $D_s$  es el diámetro interno de la carcasa (m).
- $D_{eq}$  es el diámetro equivalente de la carcasa (m).
- $\mu$  y  $\mu_m$  son la viscosidad del fluido a la temperatura media de la carcasa y de la pared, respectivamente (Pa.s).
- $\rho$  es la densidad del fluido que circula por la carcasa ( $\text{kg/m}^3$ )
- $v_t$  es la velocidad del fluido a través de la carcasa (m/s)

Si el valor obtenido se considera excesivo, un mayor espaciamiento entre deflectores permite la reducción de la pérdida de presión.

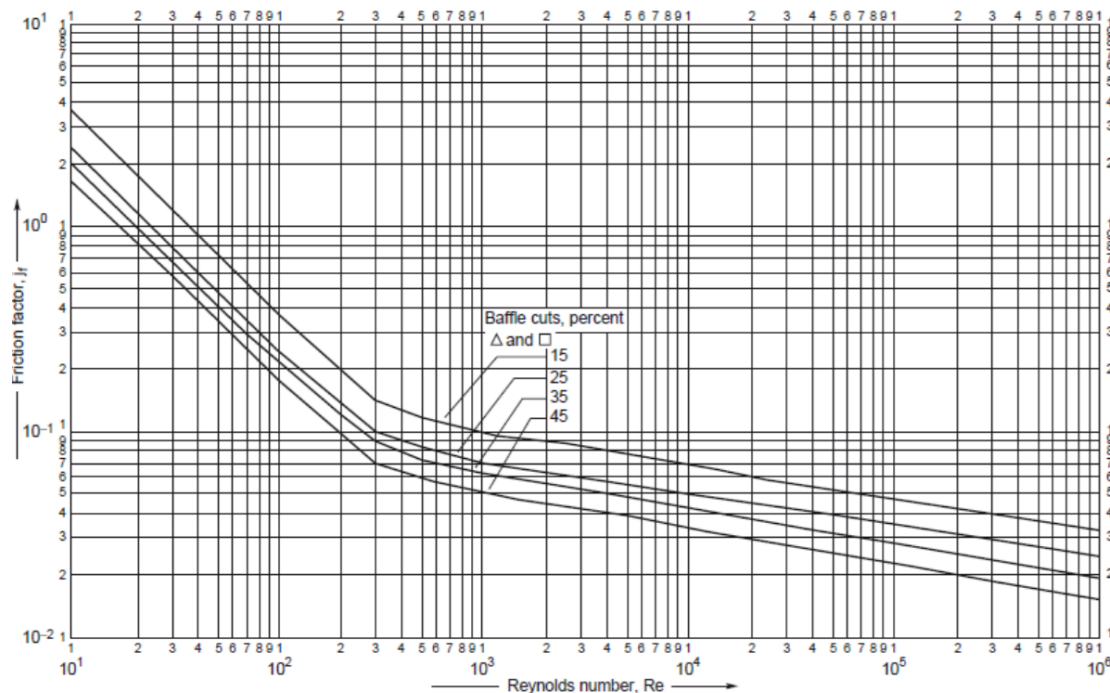


Figura 3.10. Factor de fricción de la carcasa. Fuente: (Sinnott, 2005)

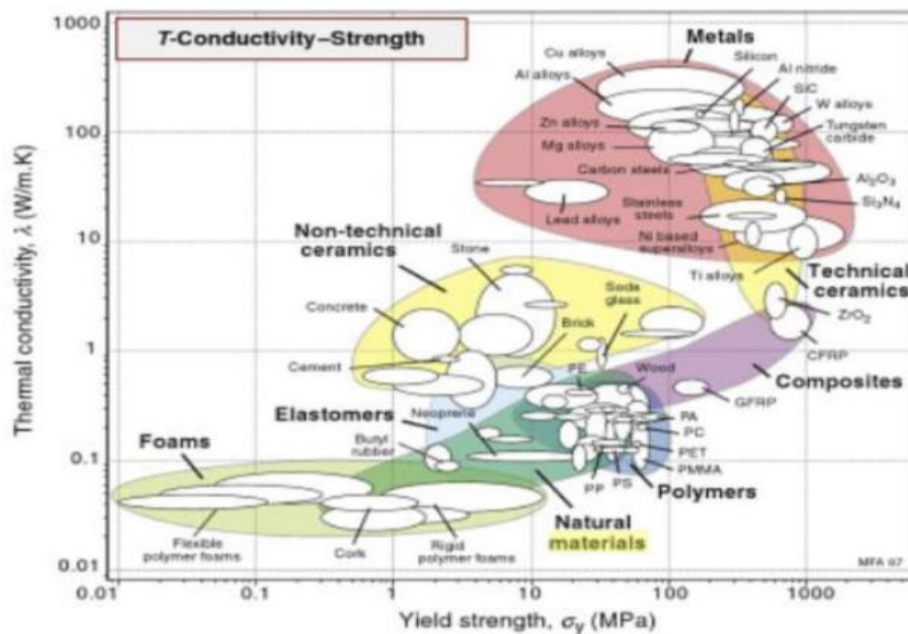
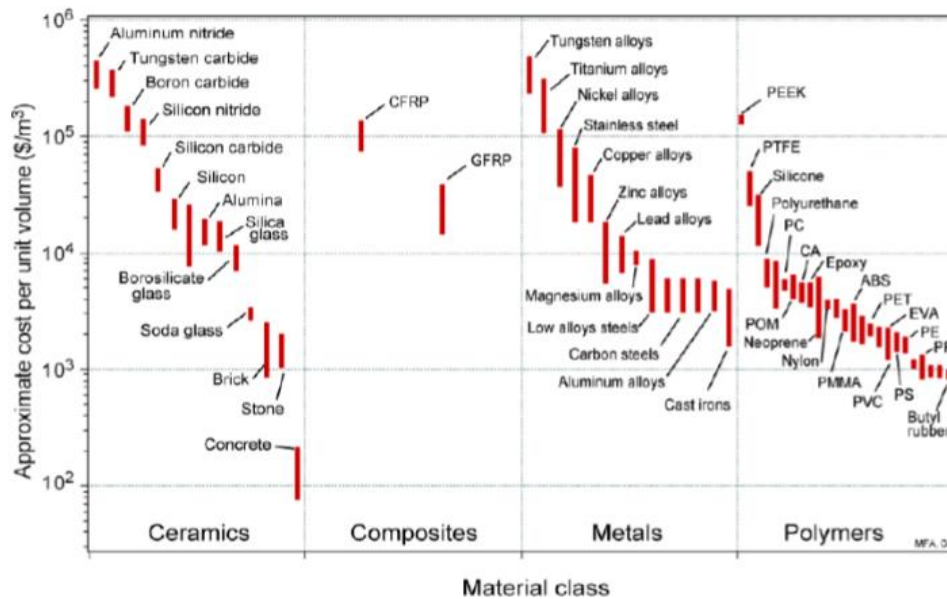
Se presenta, finalmente, el algoritmo de diseño de un intercambiador de calor en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Algoritmo de diseño de un intercambiador de calor

Paso	Acción
1	Establecer las condiciones de servicio
2	Conocer las propiedades físicas
3	Seleccionar el tipo de intercambiador
4	Suponer un valor de U
5	Calcular $\Delta T_m$
6	Calcular el área requerida
7	Dimensionar el intercambiador
8	Calcular los coeficientes individuales
9	Recalcular U. Volver al paso 6 si no satisface
10	Calcular $\Delta P$ . Volver a 7, 4 o 3 si no satisface
11	Optimizar el proceso (pasos 4 a 10)

### 3.6. SELECCIÓN DEL MATERIAL

Se presenta una gran diversidad de materiales en la industria para la construcción de intercambiadores de calor. En esta ocasión, por motivo de la baja reactividad de los compuestos que fluyen por el interior de los intercambiadores de calor, siendo estos hidrocarburos y agua, se decide utilizar el acero al carbono. La selección del mismo se hace en base a su coste inferior con respecto al acero inoxidable y aleaciones de cobre y níquel, como se muestra en la Figura 3.11, y a la gran conductividad térmica que presenta, lo que permite reducir el volumen, como se presenta en la Figura 3.12.



### 3.7. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-101

El intercambiador de calor EX-101 presenta el objetivo de enfriar la corriente de recirculación del reactivo en exceso procedente del tanque de mezcla TM-101, tras la mezcla de las corrientes de, principalmente, isobutano de las dos columnas de destilación y la alimentación fresca. Tras el enfriamiento en este equipo, la corriente se dirige al reactor de alquilación R-201 por lo que es necesario un control riguroso de la temperatura, pues pequeñas variaciones de la misma provocan alteraciones en la fracción de vapor de la alimentación. Esto conlleva un menor caudal incorporado al primer compartimento con la consecuente disminución de la relación isoparafina/olefina. Además, un exceso de compuestos evaporados también propicia una variación en la relación caudal desisobutanizadora/caudal despropanizadora optimizado en tres para reducir costes.

Por todo esto, con motivo de la relevancia de este intercambiador de calor, se detalla su procedimiento de diseño junto con los resultados obtenidos siguiendo el algoritmo descrito en la Tabla 3.8. Finalmente, completando la sección de intercambiadores de calor se presentan los resultados de las demás unidades destinadas a la transmisión de calor mostrando las características destacadas resultantes de un procedimiento de diseño análogo.

#### 3.7.1. SELECCIÓN DEL INTERCAMBIADOR

Recordando lo explicado, los intercambiadores de calor de la planta de producción de isooctano son de carcasa y tubos por las diversas ventajas que presentan. En esta ocasión, se utiliza el tipo AES según la Figura 3.1 por motivo de la versatilidad que presenta y la facilidad de mantenimiento gracias a su cabezal extraíble, lo que permite retirar, fácilmente, el haz de tubos para su limpieza.

Comentar que, al igual que éste, el resto de intercambiadores de calor de la planta de producción de isooctano son del tipo AES, por los motivos descritos anteriormente.

#### 3.7.2. CARACTERIZACIÓN DE CORRIENTES

Analizando las dos corrientes se establece la circulación de la que presenta mayor temperatura, la de recirculación de reactivo en exceso, por los tubos. Los motivos son la mayor presión y temperatura de esta corriente con respecto a la del agua, razones que decantan su conducción por el interior de los tubos según las heurística presentadas.

Además, la corriente fría de agua de refrigeración no posee limitación de caída de presión, lo que corrobora la distribución de corrientes establecida en el intercambiador de calor EX-101.

### 3.7.3. CÁLCULO DE LA ENERGÍA TRANSFERIDA

En esta ocasión, al no producirse ningún cambio de estado, la energía transferida entre las corrientes se utiliza para cambiar sus temperaturas por lo que sólo se tiene en cuenta el primer término de la ecuación (3.1), el referido al calor sensible. Se presenta en la tabla Tabla 3.9 el valor de la energía intercambiada entre corrientes y el caudal necesario de refrigerante, determinado con la ecuación (3.2), así como los parámetros necesarios para el cálculo de ambos.

Tabla 3.9. Caracterización del intercambiador EX-101

Parámetro	Valor
Caudal fluido caliente (kg/s)	10,98
Temperatura entrada fluido caliente, $T_1$ (°C)	39,00
Temperatura salida fluido caliente, $T_2$ (°C)	19,50
Temperatura entrada fluido frío, $t_1$ (°C)	10,00
Temperatura salida fluido frío, $t_2$ (°C)	19,00
Calor transferido, Q (kW)	527,62
Caudal fluido frío (kg/s)	13,57

Para el cálculo de este valor, así como de otros parámetros obtenidos posteriormente, se precisan ciertas propiedades físicas de las corrientes a la temperatura media de flujo por el intercambiador, las cuales se muestran en la Tabla 3.10 y Tabla 3.11, respectivamente.

Tabla 3.10. Propiedades del fluido frío del EX-101

Propiedades físicas del fluido frío	Valor
Capacidad calorífica (J/mol.K)	77,75
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	999,5
Viscosidad (mPa.s)	1,15
Conductividad térmica (mW/m.°C)	594,50

Tabla 3.11. Propiedades del fluido caliente del EX-101

Propiedades físicas del fluido caliente	Valor
Capacidad calorífica (J/mol.K)	142,20
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	545,70
Viscosidad (mPa.s)	0,16
Conductividad térmica (mW/m.K)	84,99



Una vez caracterizado el problema y conocido el calor a transferir entre corrientes, se procede al cálculo del área requerida para el intercambio mediante la ecuación (3.3). Comentar que, el coeficiente global de transferencia de energía, se supone de la Tabla 3.1 sabiendo que se trata de un enfriamiento de una mezcla de hidrocarburos ligeros con agua. Por su parte, la diferencia de temperatura media se determina con la ecuación (3.5) y (3.6), donde F se obtiene de la Figura 3.2 y R y S de las ecuaciones (3.7) y (3.8), respectivamente.

Se presenta en la Tabla 3.12 el valor resultante junto con los parámetros necesarios.

Tabla 3.12. Determinación del área EX-101

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Calor intercambiado (kW)</b>	527,62
<b>U supuesta (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	500,00
<b><math>\Delta T_m</math> (°C)</b>	14,10
<b>Factor R</b>	2,17
<b>Factor S</b>	0.31
<b>Coeficiente de corrección F</b>	0,86
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	87,00

Por motivo de la obtención de un valor del factor de corrección F superior a 0,75 se considera un planteamiento correcto del intercambiador a diseñar, en lo referido a las temperaturas consideradas de ambas corrientes. Por ello, se procede al dimensionamiento del equipo para obtener esa área de intercambio. Comentar que, en esta ocasión, el intercambiador es 1:4, con un paso por carcasa y cuatro por tubos. Valorando esto, la estructura interna se observa en la Figura 3.4.

El área de cada tubo se calcula con la ecuación (3.9) mientras que el número de tubos con la (3.10) y el número de ellos por paso con la (3.11). Por su parte, tras establecer la disposición de los tubos con ayuda de la Figura 3.5, se determina el pitch y el diámetro del haz con las ecuaciones (3.12) y (3.13), respectivamente, apoyándose en la Tabla 3.4 para el caso de este último.

También mencionar que el espesor se establece en función de la presión y la temperatura de operación y se siguiendo el procedimiento descrito en la sección de *Diseño mecánico*, con la consecuente comprobación de que supera el espesor mínimo de la Tabla 3.3.

Se presenta en la Tabla 3.13 las características de los tubos.

Tabla 3.13. Dimensiones de los tubos EX-101

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Diámetro nominal tubos (in)</b>	3/8
<b>Espesor (in)</b>	0,09
<b>Longitud (ft)</b>	12,00
<b>Área por tubo (m<sup>2</sup>)</b>	0,19
<b>Número tubos</b>	449,00
<b>Tubos por paso</b>	112,00
<b>Disposición tubos</b>	Triangular
<b>Pitch (mm)</b>	21,43
<b>Diámetro del haz (m)</b>	0,53

En segundo lugar, se dimensiona la carcasa y se presentan los resultados en la Tabla 3.14.

Para ello, el diámetro de la carcasa se obtiene con la ecuación (3.14) y la Figura 3.6,  $z$  se establece entre su intervalo óptimo de 0,3-0,5, la distancia entre deflectores,  $l_b$ , se calcula con la ecuación (3.15) y el número de ellos con la ecuación (3.16). Además, el área de flujo axial y el diámetro equivalente presentados son resultado de las ecuaciones (3.17) y (3.18), respectivamente.

Para finalizar, el espesor se determina valorando las condiciones de operación al igual que con los tubos y teniendo en cuenta el espesor mínimo requerido según la Tabla 3.5.

Tabla 3.14. Dimensiones de la carcasa EX-101

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Diámetro carcasa (cm)</b>	0,62
<b>Espesor carcasa (mm)</b>	7,90
<b>Parámetro <math>z</math></b>	0,40
<b>Distancia deflectores (m)</b>	0,25
<b>Número deflectores</b>	16,00
<b>Área de flujo (m<sup>2</sup>)</b>	0,03
<b>Diámetro equivalente (mm)</b>	12,17

Comentar la utilización de cabezales torisféricos para este intercambiador y para los que presentan la función de calentar la corriente líquida del reactor, así como los de la columna de destilación encargada de su separación, la T-401 y el condensador de los vapores del reactor. Es decir, los intercambiadores EX-101, EX-401, EX-402, EX-403, EX-404 y EX-301 ya que tratan corrientes a presiones comprendidas entre 5 y 7 bares. Sin embargo, los intercambiadores de calor posteriores a la bomba P-301 y precedentes a la otra columna de destilación, la T-301, presentan cabezales hemisféricos al tratar corrientes a presiones superiores a 15 bares. Estos son los intercambiadores de calor EX-302, EX-303, EX-304, EX-305 y EX-306.

### 3.7.4. VELOCIDADES DE FLUJO

Se determinan las velocidades por tubos y carcasa con la sustitución en las ecuaciones (3.20) y (3.21), respectivamente, comprobando que se encuentran dentro del margen permisible según la Tabla 3.6 para poder recalcular, posteriormente, el coeficiente de transmisión de calor global. Estos valores se presentan en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. Velocidades de las corrientes del EX-101

Parámetro	Valor
Velocidad por tubos (m/s)	1,42
Velocidad por carcasa (m/s)	0,44

Ambas velocidades, comprendidas dentro de los márgenes establecidos, permiten observar un correcto dimensionamiento previo del equipo. Finalmente, con la comprobación del coeficiente de transmisión de calor global y la caída de presión se procede a la corroboración de los resultados.

### COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE CALOR INDIVIDUALES

El coeficiente de transmisión de calor interno es función del número de Nusselt, del diámetro interno y de la conductividad térmica del fluido que circula por el interior de los tubos, según la ecuación (3.22). Conocidos los dos últimos, sólo se precisa determinar el primero, el cual depende, según la ecuación (3.23), del número de Reynolds, calculado con la ecuación (3.24), el número de Prant, obtenido con la ecuación (3.25) y el factor de transmisión de energía, observado en la Figura 3.7.

De igual manera se calcula el coeficiente de transmisión de calor externo, según la ecuación (3.26), apoyándose en esta ocasión de la ecuación (3.27) para determinar el Reynolds y la Figura 3.8 para conocer el valor del coeficiente de fricción. Para ello, se establece el corte de los deflectores del intercambiador de calor, al igual que el de todos los de la planta, en el 25%. Estos pasos son los descritos por el método Kern, explicado en la sección *Coeficientes individuales de transmisión de calor*.

Finalmente, se consideran los coeficientes de ensuciamiento oportunos de la Tabla 3.2, se toma el valor de 50 W/m.K para la conductividad térmica del acero y se presentan sus resultados, junto con los demás parámetros comentados, en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Coeficientes de transmisión de calor individuales EX-101

<b>Tubos</b>		<b>Carcasa</b>	
<b>Número Re</b>	$6,1 \cdot 10^5$	<b>Número Re</b>	$4,6 \cdot 10^3$
<b>Número Pr</b>	2,51	<b>Número Pr</b>	8,36
<b>Coefficiente <math>j_h</math></b>	$3,0 \cdot 10^{-3}$	<b>Coefficiente <math>j_h</math></b>	$8,3 \cdot 10^{-3}$
<b>Número Nu</b>	248,06	<b>Número Nu</b>	77,53
<b><math>k_f</math> (W/m.K)</b>	$8,5 \cdot 10^{-2}$	<b><math>k_f</math> (W/m.K)</b>	$5,9 \cdot 10^{-1}$
<b><math>h_i</math> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	1424,83	<b><math>h_o</math> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	3785,93
<b><math>h_{id}</math> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	5000,00	<b><math>h_{od}</math> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	3000,00

Y, utilizando la ecuación (3.4), se recalcula el coeficiente global de transmisión de calor, cuyo valor es de 517 W/m<sup>2</sup>.K, presentando un valor superior y con un 3,3% de diferencia, lo que permite aceptar el valor supuesto.

### 3.7.5. CAÍDAS DE PRESIÓN

Con el objetivo de corroborar el diseño del intercambiador de calor, se comprueba que las caídas de presión son aceptables. Para ello, comenzando por los tubos, se utiliza la ecuación (3.28) donde el valor del factor de fricción se obtiene de la Figura 3.9. Por su parte, la caída de presión por la carcasa se determina con la ecuación (3.29) utilizando, en esta ocasión, la Figura 3.10 para la determinación de  $j_r$ . Los valores aceptables para este parámetro se presentan en la Tabla 3.7 mientras que los resultantes de este intercambiador se muestran en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17. Caídas de presión EX-101

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b><math>j_h</math> tubos</b>	$3,0 \cdot 10^{-3}$
<b><math>j_h</math> carcasa</b>	$5,6 \cdot 10^{-2}$
<b><math>\Delta P_{\text{tubos}}</math> (kPa)</b>	20,5
<b><math>\Delta P_{\text{carcasa}}</math> (kPa)</b>	31,8

### 3.8. CONDENSADOR EX-301

Tras la mezcla de los vapores resultantes de la autorefrigeración del reactor y su posterior aumento de presión en el compresor C-301, se lleva a cabo una condensación total de la corriente en el intercambiador de calor EX-301 mediante la utilización de agua como refrigerante.

Es necesario indicar que el procedimiento de diseño de un condensador presenta ciertas diferencias con respecto a un intercambiador de calor en el que no se produce un cambio de fase. Por ello, se indica al final de la explicación esas ligeras modificaciones. Los cambios influyentes afectan al cálculo del coeficiente individual de calor externo, el de la condensación y, al no ser vapor de agua, no se puede considerar el valor de  $8000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

En primer lugar, los datos del planteamiento del problema se muestran en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18. Caracterización del intercambiador EX-301

Parámetro	Valor
Caudal fluido frío (kg/s)	109,28
Caudal fluido caliente (kg/s)	2,70
Temperatura entrada fluido caliente, $T_1$ (°C)	54,37
Temperatura salida fluido caliente, $T_2$ (°C)	52,24
Temperatura entrada fluido frío, $t_1$ (°C)	25,00
Temperatura salida fluido frío, $t_2$ (°C)	40,00

Para el diseño del condensador se precisan una serie de propiedades físicas a la temperatura media de los compuestos, presentadas en la Tabla 3.19 y Tabla 3.20, respectivamente. Comentar que el calor sensible liberado por el vapor durante la condensación es sensiblemente menor que el calor desprendido por cambio de fase por lo que el valor de la energía transferida se simplifica a esta última. La temperatura de salida de la corriente se corresponde con la del líquido saturado.

Tabla 3.19. Propiedades del fluido frío EX-301

Propiedades físicas del fluido frío	Valor
Capacidad calorífica (J/mol.K)	77,71
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	995,50
Viscosidad (mPa.s)	0,70
Conductividad térmica (mW/m.°C)	640,1

Tabla 3.20. Propiedades del fluido caliente EX-301

Propiedades físicas del fluido caliente	Valor
Entalpía de condensación (kJ/mol)	2,62
Densidad del líquido (kg/m <sup>3</sup> )	515,00
Densidad del vapor (kg/m <sup>3</sup> )	18,36
Viscosidad del líquido (mPa.s)	0,13
Conductividad térmica (mW/m.K)	105,12

Tras el planteamiento del problema y la presentación de las propiedades físicas a utilizar, se determinan los parámetros necesarios para calcular el área requerida para efectuar la condensación y se presentan en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21. Cálculo del área de intercambio EX-301

Parámetro	Valor
Calor intercambiado (kW)	931,80
U supuesta (W/m <sup>2</sup> .K)	700,00
$\Delta T_m$ (°C)	16,63
Coefficiente de corrección F	1,00
Área requerida (m <sup>2</sup> )	80,06

Se procede, a continuación, al dimensionamiento de los tubos y de la carcasa con el objetivo de obtener el área de intercambio de energía precisada, el cual se presenta en la Tabla 3.22. Mencionar que, el fluido que circula por los tubos, es el frío, el agua de refrigeración, mientras que el fluido caliente, la mezcla de hidrocarburos, circula por la carcasa. Esto se debe a que un fluido que experimento un cambio de fase total circula por carcasa según heurísticas. Además, comentar también que el intercambiador presenta un paso por carcasa y cuatro por tubos y el pitch cuadrado por el ensuciamiento de los vapores condensantes.

Tabla 3.22. Dimensiones del intercambiador EX-301

Parámetro	Valor
Diámetro nominal tubos (in)	3/8
Espesor (in)	0,09
Longitud (ft)	20
Número tubos	244
Disposición tubos	Cuadrado
Diámetro carcasa (m)	0,79
Espesor carcasa (mm)	9,50
Número deflectores	23,00

Finalmente, se presentan los parámetros que permiten corroborar el correcto diseño del intercambiador de calor. Para ello, recordar que, en esta ocasión, una diferencia en la U menor del 30% de la supuesta y superior a ella, una velocidad por tubos comprendida entre 1-2 m/s, por carcasa entre 5-10 m/s y caídas de presión por tubos y carcasa inferiores a 35 y 73 kPa (10% de 7,3 bares), respectivamente, permiten considerar al diseño como apropiado.

Tabla 3.23. Parámetros de comprobación de diseño EX-301

Parámetro	Valor
<b>Velocidad tubos (m/s)</b>	1,00
<b>Velocidad carcasa (m/s)</b>	5,38
<b>Caída presión tubos (kPa)</b>	31,42
<b>Caída presión carcasa (kPa)</b>	56,89
<b>U recalculada (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	722,64
<b>ΔU (%)</b>	3,65

Las diferencias en el procedimiento radican en el cálculo de la velocidad y del coeficiente de transmisión de calor externo.

En lo referido al primer parámetro, mencionar la ecuación (3.30) para su determinación.

$$v_{carcasa} = \frac{G_s}{\rho_v} = \frac{Q_c}{A_s \rho_v} \quad (3.30)$$

Donde  $v_{carcasa}$  es la velocidad del fluido condensante por carcasa (m/s),  $G_s$  el caudal por unidad de área (kg/m<sup>2</sup>.s),  $\rho_v$  la densidad del vapor (kg/m<sup>3</sup>),  $Q_c$  el caudal evaporado (kg/s) y  $A_s$  el área de flujo de la carcasa (m<sup>2</sup>).

En segundo lugar, mientras que el coeficiente de transmisión de calor interno se determina siguiendo el procedimiento descrito para el intercambiador de calor EX-101, es necesario comentar que la ecuación utilizada en el caso del cálculo del coeficiente de transmisión de calor externo difiere con dicho intercambiador y se presenta en la ecuación (3.31).

$$h_o = 0,95 k_l \left[ \frac{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g}{\mu_l \tau_h} \right]^{\frac{1}{3}} N_r^{-\frac{1}{6}} \quad (3.31)$$

Donde  $h_o$  es el coeficiente medio de condensación en la película,  $k_l$  se corresponde con la conductividad térmica del líquido (W/m.K),  $\rho_l$  y  $\rho_v$  son las densidades del líquido y del vapor (kg/m<sup>3</sup>), respectivamente,  $g$  es la gravedad (m/s<sup>2</sup>),  $\mu_l$  representa la viscosidad del líquido (Pa.s),  $\tau_h$  es el flujo de condensado por unidad de longitud (kg/s.m), calculado según la ecuación (3.32) y  $N_r$  es el número medio de tubos en las columnas de tubos verticales, determinado con la ecuación (3.33).

$$\tau_h = \frac{W_c}{LN_t} \quad (3.32)$$

Donde  $\tau_h$  es el flujo de condensado por unidad de longitud (kg/s.m),  $W_c$  es el caudal a condensar (kg/s),  $L$  la longitud de los tubos (m) y  $N_t$  el número de tubos.

$$N_r = \frac{2}{3} N_c = \frac{2}{3} N_t p_t \quad (3.33)$$

Donde  $N_r$  es el número medio de tubos en las columnas verticales,  $N_c$  el número de tubos en la fila central,  $N_t$  el número de tubos totales y  $p_t$  la distancia entre los centros (mm).

Con todo ello, se presenta en la Tabla 3.24 los datos utilizados para la determinación del coeficiente medio de condensación.

Tabla 3.24. Coeficiente de condensación EX-301

Parámetro	Valor
$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	9,81
$\tau_h \text{ (kg/s.m)}$	$1,82 \cdot 10^{-4}$
$N_r$	12,00
$h_o \text{ (W/m}^2\text{K)}$	1350,87

Por tanto, junto con el coeficiente del interior de los tubos que posee el valor de  $8350 \text{ W/m}^2\text{.K}$  siguiendo el procedimiento descrito en el intercambiador de calor EX-101 y los coeficientes de ensuciamiento de  $6000 \text{ W/m}^2\text{.K}$ , según la Tabla 3.2, se obtiene con la ecuación (3.4) el coeficiente de transmisión de calor global presentado en la Tabla 3.23.

### 3.9. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-302

La corriente compuesta por los vapores generados en el reactor R-201 para su autorefrigeración precisa un acondicionamiento previo a la entrada en la columna de destilación T-301, la despropanizadora, con el objetivo de purgar el propano para evitar su acumulación. Este tratamiento está compuesto por una compresión y enfriamiento con el objetivo de obtener la corriente líquida y una impulsión y un calentamiento hasta alcanzar las condiciones que facilitan la destilación.

Concretando en el proceso de calentamiento final de la corriente, comentar que se compone por dos intercambiadores de calor, el EX-302 que aprovecha la corriente de salida de la despropanizadora como fluido caliente para la integración energética y el EX-303 que completa el calentamiento hasta los  $86^\circ\text{C}$ . Se presentan a continuación los datos del primer intercambiador y los valores resultantes de su diseño siguiendo el procedimiento descrito con el intercambiador de calor EX-101.



En primer lugar, los datos del planteamiento del problema se muestran en la Tabla 3.25.

Tabla 3.25. Caracterización del intercambiador EX-302

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Caudal fluido frío (kg/s)</b>	2,70
<b>Caudal fluido caliente (kg/s)</b>	2,66
<b>Temperatura entrada fluido caliente, <math>T_1</math> (°C)</b>	86,45
<b>Temperatura salida fluido caliente, <math>T_2</math> (°C)</b>	74,54
<b>Temperatura entrada fluido frío, <math>t_1</math> (°C)</b>	53,53
<b>Temperatura salida fluido frío, <math>t_2</math> (°C)</b>	67,00

Para el desarrollo del diseño de un intercambiador de calor se precisan, presentadas en la Tabla 3.26 y Tabla 3.27, las propiedades físicas de ambas corrientes a la temperatura media de su transcurso por el equipo.

Tabla 3.26. Propiedades del fluido frío EX-302

<b>Propiedades físicas del fluido frío</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidad calorífica (J/mol.K)</b>	158,50
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	504,80
<b>Viscosidad (mPa.s)</b>	0,12
<b>Conductividad térmica (mW/m.°C)</b>	73,60

Tabla 3.27. Propiedades del fluido caliente EX-302

<b>Propiedades físicas del fluido caliente</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidad calorífica (J/mol.K)</b>	178,70
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	471,00
<b>Viscosidad (mPa.s)</b>	0,10
<b>Conductividad térmica (mW/m.K)</b>	64,70

Una vez caracterizado el problema y conocidas las propiedades físicas a utilizar, se calculan los factores necesarios para determinar el área requerida para ese intercambio, parámetros presentados en la Tabla 3.28. Mencionar que para la integración energética se precisa una diferencia de temperatura media superior a 20°C, aproximadamente.

Tabla 3.28. Cálculo del área de intercambio EX-302

Parámetro	Valor
Calor intercambiado (kW)	100,20
U supuesta (W/m <sup>2</sup> .K)	400,00
$\Delta T_m$ (°C)	20,22
Coefficiente de corrección F	0,91
Área requerida (m <sup>2</sup> )	13,61

El paso posterior a la determinación del área es el dimensionamiento del equipo de intercambio de energía, el cual se presenta en la Tabla 3.29. Para ello, es necesario comentar previamente que el fluido que circula por los tubos es el frío, la corriente de salida del reactor previa a la destilación, con el objetivo de reducir su caída de presión, mientras que el fluido caliente, la corriente de colas de las despropanizadora, con menor caudal, circula por la carcasa. Además, el intercambiador presenta un paso por carcasa y cuatro por tubos.

Tabla 3.29. Dimensiones del intercambiador EX-302

Parámetro	Valor
Diámetro nominal tubos (in)	3/8
Espesor (in)	0,09
Longitud (ft)	8,00
Número tubos	103
Disposición tubos	Triangular
Diámetro carcasa (m)	0,37
Espesor carcasa (mm)	9,50
Número deflectores	26

Finalmente, se presentan en la Tabla 3.30 los parámetros que permiten corroborar el diseño del intercambiador de calor. Para ello, se precisa una diferencia en la U menor del 30% de la supuesta, una velocidad por tubos entre 1-2 m/s, por carcasa entre 0,3-1 m/s y caídas de presión inferiores a 35 kPa..

Tabla 3.30. Parámetros de comprobación de diseño EX-302

Parámetro	Valor
Velocidad tubos (m/s)	1,42
Velocidad carcasa (m/s)	0,68
Caída presión tubos (kPa)	13,71
Caída presión carcasa (kPa)	27,90
U recalculada (W/m <sup>2</sup> .K)	443,26
$\Delta U$ (%)	10,80

### 3.10. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-303

Como se explicó en la introducción del intercambiador EX-302, la corriente precalentada en él precisa una temperatura de 86°C para entrar en la columna de destilación. Por ello, la función del intercambiador EX-303 es la utilización de vapor ligeramente sobrecalentado a 2 bares para calentar la corriente de entrada a la despropanizadora, suponiendo saturado para realizar los cálculos.

Para comenzar el diseño del equipo, se procede a la caracterización del problema en la Tabla 3.31.

Tabla 3.31. Caracterización del intercambiador EX-303

Parámetro	Valor
Caudal fluido frío (kg/s)	2,70
Caudal fluido caliente (kg/h)	256,11
Temperatura entrada fluido caliente, $T_1$ (°C)	120,2
Temperatura salida fluido caliente, $T_2$ (°C)	120,2
Temperatura entrada fluido frío, $t_1$ (°C)	67,00
Temperatura salida fluido frío, $t_2$ (°C)	86,00

Conocido el requerimiento de vapor, se procede a la búsqueda de las propiedades físicas necesarias para llevar a cabo el diseño del equipo, las cuales se muestran en la Tabla 3.32 y Tabla 3.33 para el fluido frío y el caliente, respectivamente. Comentar que, para el caso del vapor condensante se establece un coeficiente individual de transmisión de calor de 8000 W/m<sup>2</sup>.K, por lo que sólo se presenta la entalpía de condensación, utilizada para la determinación del caudal requerido de fluido calefactor presentado en la Tabla 3.31 y la densidad para el cálculo de la velocidad.

Tabla 3.32. Propiedades del fluido frío EX-303

Propiedades físicas del fluido frío	Valor
Capacidad calorífica (J/mol.K)	77,71
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	995,50
Viscosidad (mPa.s)	0,70
Conductividad térmica (mW/m.°C)	640,1

Tabla 3.33. Propiedades del fluido caliente EX-303

Propiedades físicas del fluido caliente	Valor
Entalpía de condensación (J/mol)	2201,09
Densidad del vapor (kg/m <sup>3</sup> )	0,55

Una vez caracterizado el problema y conocidas las propiedades físicas necesarias, se calculan los factores necesarios para determinar el área requerida para ese intercambio, parámetros presentados en la Tabla 3.34.

Tabla 3.34. Cálculo del área de intercambio EX-303

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Calor intercambiado (kW)</b>	156,64
<b>U supuesta (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	750,00
<b><math>\Delta T_m</math> (°C)</b>	43,00
<b>Coefficiente de corrección F</b>	1,00
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	4,86

Establecido el área, se presentan en la Tabla 3.35 las dimensiones del intercambiador, tanto de los tubos como de la carcasa. Para ello, es necesario comentar previamente que el fluido que circula por los tubos es el frío por motivo de su elevada presión, mientras que el fluido caliente, por causa de su cambio de fase total, circula por la carcasa. Además, se pretende que la caída de presión del frío debe ser lo menor posible. El intercambiador de calor presenta un paso por carcasa y dos por tubos.

Tabla 3.35. Dimensiones del intercambiador EX-303

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Diámetro nominal tubos (in)</b>	1/2
<b>Espesor (in)</b>	0,11
<b>Longitud (ft)</b>	6,00
<b>Número tubos</b>	40
<b>Disposición tubos</b>	Triangular
<b>Diámetro carcasa (m)</b>	0,30
<b>Espesor carcasa (mm)</b>	9,30
<b>Número deflectores</b>	17,00

Finalmente, con el objetivo de corroborar el diseño, se presentan los siguientes parámetros en la Tabla 3.36. Se recuerda que, en esta ocasión, la diferencia en la U debe ser menor del 30% de la supuesta y superior a ella, la velocidad por tubos comprendida entre 1-2 m/s y por carcasa entre 10 y 30 m/s. Por su parte, la caída de presión por tubos debe ser menor de 35 kPa y, por carcasa, no puede superar el 50% de la presión manométrica, es decir, menor de 50 kPa.

Tabla 3.36. Parámetros de comprobación del diseño EX-303

Parámetro	Valor
Velocidad tubos (m/s)	1,24
Velocidad carcasa (m/s)	11,99
Caída presión tubos (kPa)	3,80
Caída presión carcasa (kPa)	7,81
U recalculada (W/m <sup>2</sup> .K)	812,94
$\Delta U$ (%)	8,39

### 3.11. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-306

La corriente obtenida por colas en la desisobutanizadora, tras su paso por el intercambiador de calor EX-302 se mezcla con la recirculación de la otra columna, para su reintroducción en el reactor. Pero, debido a su excesiva presión con respecto a la otra corriente, se decide introducir en una turbina para aprovechar su energía. El problema radica en que precisa un enfriamiento previo para no evaporarse con la reducción de la presión. Por motivo ello, se reduce su temperatura hasta los 39°C utilizando agua de refrigeración.

Se presentan los valores de temperaturas y caudales de las corrientes que intercambian energía en la Tabla 3.37.

Tabla 3.37. Caracterización del intercambiador EX-306

Parámetro	Valor
Caudal fluido frío (kg/s)	3,15
Caudal fluido caliente (kg/s)	2,66
Temperatura entrada fluido caliente, $T_1$ (°C)	74,54
Temperatura salida fluido caliente, $T_2$ (°C)	39,00
Temperatura entrada fluido frío, $t_1$ (°C)	26,00
Temperatura salida fluido frío, $t_2$ (°C)	45,00

Para llevar a cabo el diseño, se presentan, en la Tabla 3.38 y Tabla 3.39 las propiedades físicas de la corriente de agua refrigerante y de la mezcla de hidrocarburos, respectivamente.

Tabla 3.38. Propiedades del fluido frío EX-306

Propiedades físicas del fluido frío	Valor
Capacidad calorífica (J/mol.K)	77,72
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	995,20
Viscosidad (mPa.s)	0,72
Conductividad térmica (mW/m.°C)	625,10

Tabla 3.39. Propiedades del fluido caliente EX-306

Propiedades físicas del fluido caliente	Valor
Capacidad calorífica (J/mol.K)	156,65
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	498,20
Viscosidad (mPa.s)	0,11
Conductividad térmica (mW/m.K)	71,70

Tras el conocimiento de las propiedades físicas de los compuestos a la temperatura media de su paso por el intercambiador, se determina el área necesaria para la transferencia de energía y se presenta, junto con los factores necesarios requeridos en su cálculo, en la Tabla 3.40.

Tabla 3.40. Cálculo del área de intercambio EX-306

Parámetro	Valor
Calor intercambiado, Q (kW)	258,31
U supuesta (W/m <sup>2</sup> .K)	500,00
$\Delta T_m$ (°C)	20,15
Coefficiente de corrección, F	0,93
Área requerida, A (m <sup>2</sup> )	27,57

A continuación, se presentan en la Tabla 3.41 las dimensiones resultantes del intercambiador, tanto de los tubos como de la carcasa, para obtener esta área. Mencionar que el fluido que circula por los tubos es el caliente con el objetivo de reducir su caída de presión y por motivo de su mayor temperatura, dotando al equipo de mayor seguridad, mientras que el fluido frío lo hace por carcasa. El intercambiador posee dos pasos por carcasa y cuatro por tubos.

Tabla 3.41. Dimensiones del intercambiador EX-306

Parámetro	Valor
Diámetro nominal tubos (in)	3/8
Espesor (in)	0,09
Longitud (ft)	12
Número tubos	140
Disposición tubos	Triangular
Diámetro carcasa (m)	0,41
Espesor carcasa (mm)	7,90
Número deflectores	24,00

Finalmente, se presentan en la Tabla 3.42 los parámetros que permiten corroborar el correcto diseño del intercambiador de calor. Para ello, recordar que la obtención de una U mayor que la supuesta y con una diferencia menor del 30%, una velocidad por tubos comprendida entre 1-2 m/s, por carcasa entre 0,3-1 m/s, caídas de presión inferiores a 35 kPa permiten considerar al diseño como apropiado, en esta ocasión.

Tabla 3.42. Parámetros de comprobación del diseño EX-306

Parámetro	Valor
<b>Velocidad tubos (m/s)</b>	1,10
<b>Velocidad carcasa (m/s)</b>	0,47
<b>Caída presión tubos (kPa)</b>	10,97
<b>Caída presión carcasa (kPa)</b>	33,13
<b>U recalculada (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	503,52
<b><math>\Delta U</math> (%)</b>	0,70

### 3.12. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-401

La corriente líquida de salida del reactor se conduce a una columna de destilación para la obtención del producto por colas y el reactivo en exceso por cabezas que se recircula. Además, por una corriente lateral se purga butano, inerte para evitar su acumulación. Por ello, es necesario un acondicionamiento previo para dotar a la corriente de la presión y temperatura necesaria. En lo referido al calentamiento, se utilizan dos intercambiadores de calor, el EX-401 que utiliza la corriente de isobutano recirculado para la integración energética y el EX-402, para completar el calentamiento hasta los 86°C mediante la utilización de vapor saturado.

Se presentan los datos de temperaturas y caudales de ambas corrientes para el caso del primero, el intercambiador EX-401 en la Tabla 3.43.

Tabla 3.43. Caracterización del intercambiador EX-401

Parámetro	Valor
<b>Caudal fluido frío (kg/s)</b>	8,80
<b>Caudal fluido caliente (kg/s)</b>	8,01
<b>Temperatura entrada fluido caliente, <math>T_1</math> (°C)</b>	47,62
<b>Temperatura salida fluido caliente, <math>T_2</math> (°C)</b>	39,00
<b>Temperatura entrada fluido frío, <math>t_1</math> (°C)</b>	19,5
<b>Temperatura salida fluido frío, <math>t_2</math> (°C)</b>	28,00

En la Tabla 3.44 y la Tabla 3.45 se presentan, respectivamente, las propiedades físicas de las corrientes que intercambian energía, necesarias para el diseño del equipo, a la temperatura media entre la entrada y la salida.

Tabla 3.44. Propiedades del fluido frío EX-401

<b>Propiedades físicas del fluido frío</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidad calorífica (J/mol.K)</b>	142,50
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	559,90
<b>Viscosidad (mPa.s)</b>	0,17
<b>Conductividad térmica (mW/m.°C)</b>	87,10

Tabla 3.45. Propiedades del fluido caliente EX-401

<b>Propiedades físicas del fluido caliente</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidad calorífica (J/mol.K)</b>	150,40
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	526,80
<b>Viscosidad (mPa.s)</b>	0,14
<b>Conductividad térmica (mW/m.K)</b>	79,80

Una vez caracterizado el problema y conocidas las propiedades físicas necesarias, se calculan los factores necesarios para determinar el área requerida para ese intercambio, parámetros presentados en la Tabla 3.46.

Tabla 3.46. Cálculo del área de intercambio EX-401

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Calor intercambiado (kW)</b>	179,00
<b>U supuesta (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	400,00
<b><math>\Delta T_m</math> (°C)</b>	19,58
<b>Coefficiente de corrección F</b>	0,96
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	23,81

Debido al elevado valor del factor de corrección y a la diferencia de temperatura media de 20°C, aproximadamente, se asume como correcto el planteamiento del problema.



Establecido el área, se presentan en la Tabla 3.47 las dimensiones del intercambiador, tanto de los tubos como de la carcasa. Para ello, comentar que el fluido que circula por los tubos es el frío con el objetivo de reducir su caída de presión, mientras que el fluido caliente, con menor caudal, circula por la carcasa siguiendo las heurísticas. El intercambiador de calor es de un paso por carcasa y dos por tubos.

Tabla 3.47. Dimensiones del intercambiador EX-401

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Diámetro nominal tubos (in)</b>	½
<b>Espesor (in)</b>	0,11
<b>Longitud (ft)</b>	12,0
<b>Número tubos</b>	99
<b>Disposición tubos</b>	Triangular
<b>Diámetro carcasa (m)</b>	0,42
<b>Espesor carcasa (mm)</b>	7,90
<b>Número deflectores</b>	15,00

Finalmente, se presentan en la Tabla 3.48 los parámetros que permiten corroborar el correcto diseño del intercambiador de calor. Para ello, recordar que una diferencia en la U menor del 30% de la supuesta, una velocidad por tubos comprendida entre 1-2 m/s, por carcasa entre 0,3-1 m/s y caídas de presión inferiores a 35 kPa permiten considerar al diseño como apropiado.

Tabla 3.48. Parámetros de comprobación del diseño EX-401

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Velocidad tubos (m/s)</b>	1,60
<b>Velocidad carcasa (m/s)</b>	0,73
<b>Caída presión tubos (kPa)</b>	9,82
<b>Caída presión carcasa (kPa)</b>	10,80
<b>U recalculada (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	433,12
<b>ΔU (%)</b>	8,30

### 3.13. INTERCAMBIADOR DE CALOR EX-402

Complementando el calentamiento previo por integración energética de la corriente líquida resultante del reactor llevado a cabo en el intercambiador de calor EX-401, el EX-402 eleva su temperatura hasta los 67,5°C, para la entrada posterior a la columna de destilación T-401. Para ello, se utiliza vapor saturado a 2 bares.

En primer lugar, se caracteriza el problema en la tabla Tabla 3.49.

Tabla 3.49. Caracterización del intercambiador EX-402

Parámetro	Valor
Caudal fluido frío (kg/s)	8,80
Caudal fluido caliente (kg/s)	0,39
Temperatura entrada fluido caliente, T1 (°C)	120,20
Temperatura salida fluido caliente, T2 (°C)	120,20
Temperatura entrada fluido frío, t1 (°C)	28,00
Temperatura salida fluido frío, t2 (°C)	67,50

A continuación, se presentan en la Tabla 3.50 y la Tabla 3.51 las propiedades físicas de las corrientes que intercambian energía, respectivamente, requeridas para el diseño del equipo, a la temperatura media de flujo.

Tabla 3.50. Propiedades del fluido frío EX-402

Propiedades físicas del fluido frío	Valor
Capacidad calorífica (J/mol.K)	155,20
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	529,20
Viscosidad (mPa.s)	0,14
Conductividad térmica (mW/m.°C)	78,70

Tabla 3.51. Propiedades del fluido caliente EX-402

Propiedades físicas del fluido caliente	Valor
Entalpía de condensación (J/mol)	2226,50
Densidad del vapor (kg/m <sup>3</sup> )	0,55

Comentar con respecto al vapor calefactor que sólo se precisa la energía desprendida durante su condensación porque el coeficiente individual de calor se asume como 8000 W/m<sup>2</sup>K para este caso, vapor de agua por carcasa que condensa y la densidad para determinar su velocidad.

Tras ello, se calcula el área requerida para la transferencia de energía, presentado su valor, junto con el de los factores influyentes en su determinación, en la Tabla 3.52.

Tabla 3.52. Cálculo del área de intercambio EX-402

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Calor intercambiado (kW)</b>	905,94
<b>U supuesta (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	600,00
<b><math>\Delta T_m</math> (°C)</b>	70,62
<b>Coefficiente de corrección F</b>	1,00
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	21,38

Acto seguido, se procede al dimensionamiento del intercambiador de calor con el objetivo de obtener el área establecida. Resultado del mismo, se presentan en la Tabla 3.53 los valores, tanto de las características de los tubos como las de la carcasa. Decir, previamente, que, según las heurísticas, cuando un fluido experimenta un cambio de fase total, este debe circular por la carcasa. El intercambiador de calor presenta un paso por carcasa y dos por tubos.

Tabla 3.53. Dimensiones del intercambiador EX-402

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Diámetro nominal tubos (in)</b>	½
<b>Espesor (in)</b>	0,11
<b>Longitud (ft)</b>	8
<b>Número tubos</b>	131
<b>Disposición tubos</b>	Triangular
<b>Diámetro carcasa (m)</b>	0,46
<b>Espesor carcasa (mm)</b>	7,90
<b>Número deflectores</b>	8,00

Con el objetivo de corroborar este diseño se presentan los consecuentes parámetros en la tabla Tabla 3.54. Recordar que, en esta ocasión, la velocidad de los tubos debe hallarse entre 1 y 2 m/s, la carcasa entre 10 y 30 m/s y sus caídas de presión ser inferior a 35 y 50 kPa (el 50% de 1 bar, la presión manométrica del vapor), respectivamente. Por su parte, la diferencia entre la U calculada y la asumida debe ser menor del 30%.

Tabla 3.54. Parámetros de comprobación del diseño EX-402

Parámetro	Valor
Velocidad tubos (m/s)	1,21
Velocidad carcasa (m/s)	22,64
Caída presión tubos (kPa)	4,60
Caída presión carcasa (kPa)	9,08
U recalculada (W/m <sup>2</sup> .K)	625,64
$\Delta U$ (%)	5,64

## 4. TANQUES DE MEZCLA

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de obtener una mezcla homogénea de sólidos, líquidos o gases, los tanques de mezcla se convierten en un equipo de gran relevancia en la industria. A pesar de que existan otros tipos de equipos y sistemas para llevar a cabo esta función según la naturaleza de los compuestos o el grado de mezcla exigido, los tanques agitados son los más comúnmente utilizados para gran diversidad de fluidos (Holland, y otros, 1966).

Se presenta en la Figura 4.1 la estructura típica del mismo, con dos ejemplos de agitadores.

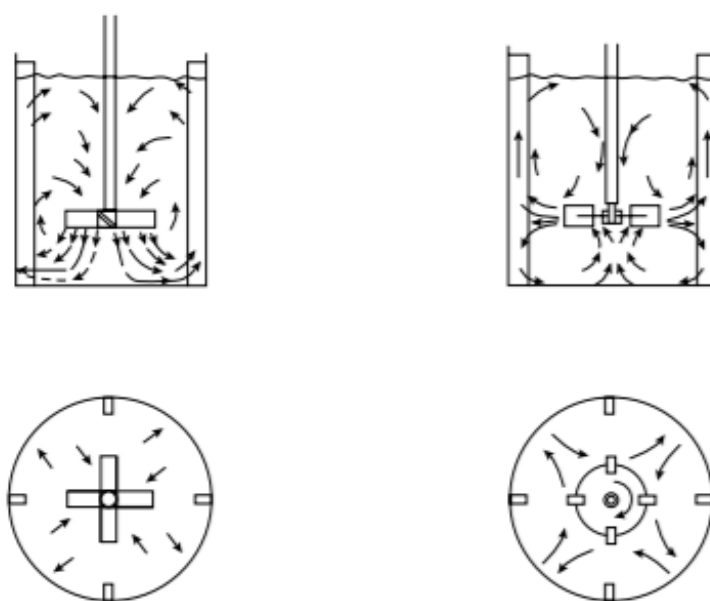


Figura 4.1. Tanques de mezcla con agitador. Fuente: (Sinnott, 2005).

Así, las corrientes se introducen por boquillas diferentes al equipo y se busca obtener una única salida con las mismas propiedades que todo el tanque, homogéneo en todo el volumen gracias a la acción del agitador. La selección de este dispositivo se lleva a cabo en función del tipo de mezcla requerida, la capacidad del tanque y las propiedades de las corrientes a mezclar, destacando entre ellas la viscosidad. Los tres tipos de sistema de agitación más utilizados en la industria son las turbinas de flujo radial, las turbinas de flujo axial y las hélices, representados en la Figura 4.2

Además, se presentan otras alternativas para aplicaciones especiales como los agitadores helicoidales o los de tipo ancla para fluidos con elevada viscosidad.

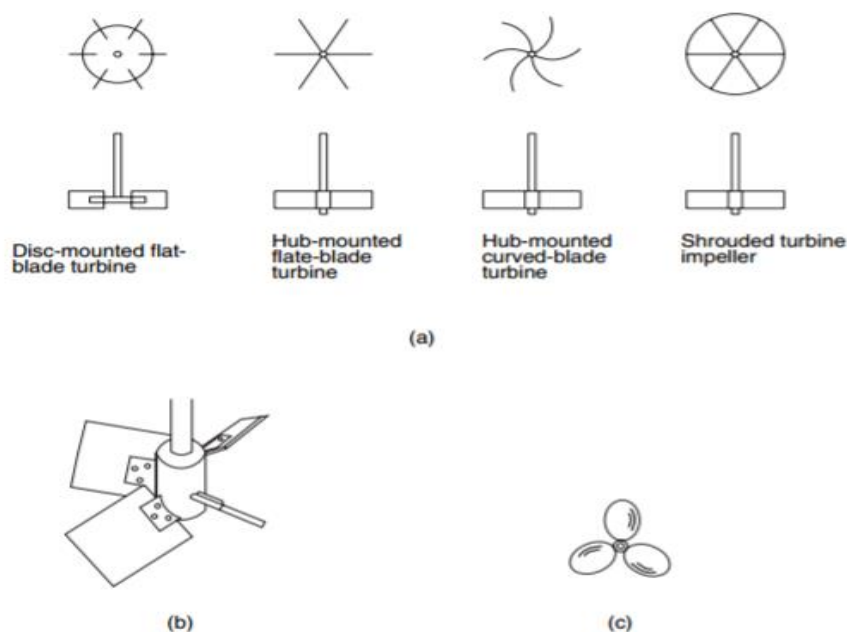


Figura 4.2. Agitadores. a) Turbinas de flujo radial. b) Turbinas de flujo axial c) Hélices.

Fuente: (Sinnott, 2005)

## 4.2. DISEÑO DE UN TANQUE DE MEZCLA

A continuación se presenta el procedimiento llevado a cabo para el dimensionamiento y diseño mecánico de un tanque de mezcla con el objetivo de aplicarlo posteriormente para diseñar el existente en la planta de producción de isooctano.

### 4.2.1. CÁLCULO DEL VOLUMEN

El volumen de un tanque de mezcla se determina en función del caudal que se introduce y el tiempo necesario para obtener el grado de mezclado requerido, según la ecuación (4.1).

$$V = Q_v \cdot t \quad (4.1)$$

Donde  $V$  es el volumen requerido del tanque ( $m^3$ ),  $Q_v$  es el caudal volumétrico introducido en el mismo ( $m^3/h$ ) y  $t$  el tiempo necesario para la mezcla (h).

Por motivos de seguridad frente a fluctuaciones en el caudal así como por la estabilidad del tanque y la voluntad de evitar reboses, se establece un volumen vacío mediante el sobredimensionamiento de un 20% del volumen requerido. Así, según la ecuación (4.2), se establece el volumen real del tanque.

$$V_{real} = 1,2 \cdot V \quad (4.2)$$

Donde  $V_{real}$  es el volumen real del tanque ( $m^3$ ) y  $V$  el volumen requerido teóricamente ( $m^3$ ).

#### 4.2.2. CÁLCULO DEL DIÁMETRO

Tras la determinación del volumen del tanque, se estudia el tipo de geometría oportuna. Por motivo de la inexistencia de presiones excesivamente elevadas en la planta de producción de isooctano, los tanques utilizados son cilíndricos, para los cuales se calcula el diámetro necesario con la ecuación (4.3).

$$D = \sqrt[3]{4 \frac{V_{real}}{\pi \cdot H/D}} \quad (4.3)$$

Donde D es el diámetro del tanque (m),  $V_{real}$  se corresponde con el volumen real de tanque ( $m^3$ ) y  $H/D$  es la relación entre la altura y el diámetro del tanque.

#### 4.2.3. DISEÑO MECÁNICO

Los parámetros que comprenden el diseño mecánico de un tanque agitado son el establecimiento de los cabezales y sus espesores, así como el espesor requerido por la carcasa. Finalmente, se presenta el agitador seleccionado y la potencia requerida para su funcionamiento. Para lo primero se sigue el procedimiento descrito en la sección *Selección de la carcasa y cálculo del espesor* y en la sección *Selección de los cabezales*, respectivamente. Por su parte, el sistema de agitación se diseña atendiendo a lo explicado en la sección de 1.3.6.2 Agitador.

### 4.3. TANQUE DE MEZCLA TM-101

#### 4.3.1. CARACTERÍSTICAS

Con el objetivo de la mezcla de las dos corrientes de recirculación procedentes de las columnas de destilación T-301 y T-401, respectivamente, junto con la alimentación fresca de isobutano, se precisa un tanque agitado. La corriente de salida, tras su paso por el intercambiador de calor EX-101, se introduce en el reactor R-201 para la alquilación. El tanque se encuentra a una presión de 5,5 bares para no precisar una bomba ni para la introducción de los compuestos en él ni para el impulso hacia el intercambiador de calor posterior. Esto se debe a que las corrientes de entrada proceden de la columna T-401 a 6,5 bares (con pequeñas pérdidas posteriores en el intercambiador de calor EX-401 y en la tubería), de la turbina TB-301 a 6 bares y de la alimentación fresca a 6 bares también. Por su parte, la corriente de salida fluye hasta el reactor R-201 que trabaja a 3 bares sin precisar tampoco un equipo de impulsión a pesar de las pérdidas en el intercambiador de calor EX-101 y en las tuberías. De hecho, se utiliza la válvula VLV-101 para reducir su presión evitando así una diferencia destacada en la boquilla del reactor que conlleve problemas mecánicos.

Comentar de la mezcla existente en el tanque que, a una presión inferior de 5 bares, aproximadamente, y temperatura de 39°C, no se encuentra totalmente como líquido, sino que posee una fracción en estado vapor. Por ello, la selección de la presión del tanque de 5,5 bares se considera correcta y con margen suficiente para contrarrestar las pérdidas por fricción en la tubería de conducción al intercambiador de calor EX-101.

#### 4.3.2. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES.

En primer lugar, se determina el volumen real necesario para llevar a cabo la mezcla de las dos corrientes mediante la sustitución de los valores en la ecuación (4.1), (4.2) y (4.3). Se presenta los resultados en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Dimensionamiento del tanque de mezcla TK-101

Parámetro	Valor
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	70,38
Tiempo de mezcla (h)	0,50
Volumen requerido teórico (m <sup>3</sup> )	35,19
Volumen real (m <sup>3</sup> )	42,25
Relación H/D	1,50
Diámetro del tanque (m)	3,30

Por tanto, se utiliza un tanque agitado de 3,3 metros de diámetro y 5 metros de altura con el objetivo de la mezcla de corrientes de hidrocarburos. La disposición del tanque es vertical, pues supera los 40 m<sup>3</sup> y la relación entre altura y diámetro recomendada se encuentra en torno a 1,50 (Sinnott, 2005).

#### 4.3.3. DISEÑO MECÁNICO

Con el objetivo de establecer los espesores necesarios, se debe seleccionar un material de construcción. Por motivo de la baja reactividad que presentan los hidrocarburos con la mayoría de los materiales de construcción, el coste de los mismos y la masa requerida para soportar el esfuerzo máximo permisible, se encuentra el óptimo en el acero al carbono.

Tras ello, se presenta en la Tabla 4.2 el espesor requerido por la carcasa siguiendo el procedimiento descrito en la sección de *Selección de la carcasa y cálculo del espesor* y teniendo en cuenta el sobredimensionamiento oportuno en la presión y temperatura.



Tabla 4.2. Cálculo del espesor de la carcasa del tanque TK-101

Parámetro	Valor
Presión de diseño (bar)	4,95
Diámetro del recipiente (m)	3,30
Tensión máxima permisible (bar)	1.350
Eficiencia soldadura	0,85
Espesor por corrosión (mm)	2,00
Espesor carcasa (mm)	9,13

Se toma el valor mínimo que se encuentra en 12 mm para un tanque vertical de ese diámetro según la Tabla 1.27 y se asegura la resistencia al esfuerzo por el peso.

A continuación se selecciona el cabezal. Para presión inferiores a 15 bares, como ocurre en este equipo, el tipo de cabezal más utilizado debido a su menor coste es el torisférico. Por tanto, se utiliza este tipo tanto para la cubierta superior como inferior. Su espesor, presentado en la Tabla 4.3, se calcula según se presenta en la sección de *Selección de los cabezales*.

Tabla 4.3. Cálculo del espesor del tanque TK-101

Parámetro	Valor
Presión de diseño (bar)	4,95
Radio de la corona (m)	3,30
Tensión máxima permisible (bar)	1.350
Eficiencia soldadura	0,85
Espesor por corrosión (mm)	2,00
Espesor cabezales (mm)	7,77

Por su parte, valorando la viscosidad baja de los hidrocarburos, se precisa una suave agitación. Con esto y, teniendo en cuenta la capacidad del tanque, se decide la utilización de un agitador de acero al carbono compuesto por una turbina de seis palas planas con un disco en el centro para dotar al sistemas de mayor estabilidad. Por motivo de la formación de un vórtice se utilizan cuatro deflectores situados en la carcasa.

Se determina la potencia según el procedimiento mostrado en la sección de 1.3.6.2 Agitador presentando los resultados en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Cálculo de la potencia requerida del agitador del TK-101

Parámetro	Valor
Velocidad de giro (rpm)	50,00
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	544,30
Viscosidad (mPa.s)	0,16
Número de Reynolds	$3,5 \cdot 10^5$
Número de potencia	6,30
Potencia requerida (kW)	3,45
Potencia por unidad de volumen (kW/m <sup>3</sup> )	0,08

Valor concordante con lo presentado en la Tabla 1.21.

Comentar simplemente, para finalizar la explicación del mezclado de corrientes, la formada por los vapores desprendidos del reactor para su autorefrigeración. Las salidas de vapores del reactor deben mezclarse para su posterior compresión y condensación. Al tratarse de una mezcla de vapores no se precisa un equipo especializado debido a su baja viscosidad y a, en este caso, sus composiciones prácticamente semejantes. Por ello, con la propia mezcla producida por el flujo turbulento a lo largo de la tubería es suficiente. Por tanto, se presentan en la Figura 4.3 las alternativas existentes, de las cuales se opta por la opción de inyección por la relación elevada de caudales entre la primera y las dos siguientes corrientes a mezclar.

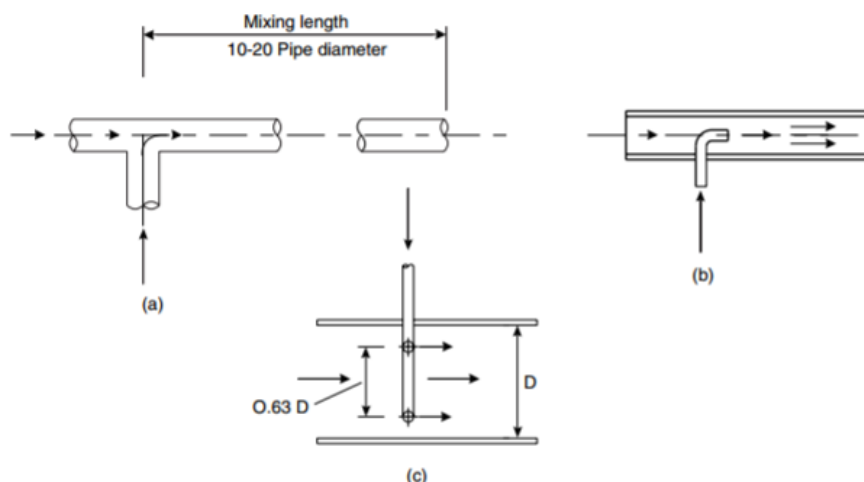


Figura 4.3. Mezcla de gases. a) Codos b) Inyección c) Anular. Fuente: (Sinnott, 2005).

## 5. TANQUE PULMÓN

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de dotar a la planta de mayor seguridad se utiliza un tanque pulmón. El objetivo de este equipo es que, en caso de alteraciones de caudal en la línea de suministro de reactivos, la alimentación al proceso posea un flujo constante tras el paso por este equipo. Además, sirve de gran ayuda para las puestas en marcha de la planta.

### 5.2. DISEÑO DE UN TANQUE PULMÓN

En la planta de producción de isooctano, por motivo de la existencia de dos corrientes de alimentación de reactivos a proceso en estado líquido, se deben utilizar dos tanques pulmón. Como una de las alimentaciones se fracciona en el tanque, obteniendo tres salidas, este no posee únicamente la función de estabilizar el caudal, por lo que no se incluye en este apartado. El procedimiento de dimensionamiento es análogo al presentado en la sección de *Diseño de un tanque de mezcla*, con la única diferencia de que, en esta ocasión, en lugar de utilizar el tiempo de mezcla para la determinación del volumen, se utiliza el tiempo en el cual se pueda solucionar un problema en el suministro de reactivos para no requerir una parada de planta. Se considera un tiempo de reparación de tres horas, con el objetivo de suplir la falta de reactivo proveniente de la refinería por cualquier problema en la línea. Además, el sobredimensionamiento es del 100% con la idea de que el nivel de líquido en el tanque se encuentre en la mitad de la altura del mismo, para que el área sea mayor y se facilite el control del caudal de salida.

### 5.3. TANQUE PULMÓN TK-102

La función del tanque pulmón TK-101 es la regulación del caudal de entrada de la corriente de isobutano al tanque de mezcla TM-101, necesario para reemplazar el consumido en la reacción de alquilación y las pérdidas en la separación para obtener el producto y purgar inertes. Comentar que este tanque se encuentra a 6 bares, para que la corriente procedente de la refinería impulsada se introduzca en el tanque de mezcla TM-101 (a 5,5 bares) sin necesidad de una bomba tras su paso por el depósito pulmón. Sus dimensiones se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla 5.1. Dimensiones del depósito pulmón TK-103

Parámetro	Valor
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	1,91
Tiempo de seguridad (h)	3,00
Volumen requerido teórico (m <sup>3</sup> )	5,73
Volumen real (m <sup>3</sup> )	11,46
Relación H/D	1,50
Diámetro del tanque (m)	2,15

Simplemente, mencionar la utilización de un cabezal torisférico por la presión reducido con un espesor de 9 mm, el mínimo según la Tabla 1.27 al no superar este valor el espesor calculado según la sección *Selección de la carcasa y cálculo del espesor*.

## 6. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

### 6.1. INTRODUCCIÓN

Los tanques de almacenamiento son equipos industriales que presentan la función de contener tanto las materias primas necesarias para el proceso como los productos resultantes. En la planta de producción de isooctano se presentan tres ejemplos de este recipiente. Estos son el de almacenamiento de buteno, el de ácido sulfúrico y el de isooctano. Sin embargo, en el caso de este último comentar que su venta se realiza tanto a la planta anexa como a otras plantas de Europa, EE.UU. o Arabia Saudí. Por tanto, el almacenamiento se lleva a cabo en dicha planta para el posterior traslado por barco. En función del volumen que se transporta por barco y el que se consume, y su temperatura requerida, en la planta de Repsol de Tarragona se puede plantear otra integración energética debido a la elevada temperatura a la que sale el producto.

El proceso de diseño es análogo al de una tanque de mezcla donde el tiempo de mezclado se sustituye por el tiempo necesario para asegurar la existencia de reactivo en el proceso o de producto para vender.

### 6.2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO TK-101

La función del tanque TK-101 es la distribución del caudal de entrada de la corriente de buteno al reactor de alquilación en tres corrientes. Comentar que este tanque se encuentra a 3,25 bares, de manera que el reactivo procedente de la refinería a una presión superior llega al reactor R-201 tras su paso por el tanque pulmón sin la necesidad de una bomba. Por motivo del fraccionamiento de esta alimentación, el tanque posee una corriente de entrada y tres de salida, una para compartimento del equipo de reacción. Sus dimensiones se muestran en la Tabla 6.1 teniendo en cuenta un tiempo existencia de reactivo en exceso idéntico al del reactivo limitante.

Tabla 6.1. Dimensiones del depósito pulmón TK-102

Parámetro	Valor
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	3,23
Tiempo de seguridad (h)	3,00
Volumen requerido teórico (m <sup>3</sup> )	9,69
Volumen real (m <sup>3</sup> )	19,38
Relación H/D	1,50
Diámetro del tanque (m)	2,55

En esta ocasión, se establece el mismo cabezal que el tanque pulmón TK-102, torisférico, pero con un espesor de 10 mm, el mínimo para ese diámetro.

### 6.3. TANQUE DE ALMACENAMIENTO TK-202

La función del tanque TK-202 es la almacenamiento de ácido sulfúrico para su alimentación al reactor cuando el obtenido por decantación presente una concentración inferior al 93%. Este tanque se encuentra a 2,7 bar de presión, igual que el resultante de la decantación. Sus dimensiones se muestran en la Tabla 6.1 valorando un tiempo de 2 horas porque una vez sustituido todo el volumen del reactor, todavía queda compuesto para otro volumen idéntico. Esto se hace porque la refinería anexa de Repsol posee almacenamiento de ácido, por ello se conduce una pequeña fracción a la propia parcela destinada a la producción de isooctano.

Tabla 6.2. Dimensiones del depósito pulmón TK-102

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/h)</b>	8,87
<b>Tiempo de seguridad (h)</b>	2,00
<b>Volumen requerido teórico (m<sup>3</sup>)</b>	17,74
<b>Volumen real (m<sup>3</sup>)</b>	21,29
<b>Relación H/D</b>	1,50
<b>Diámetro del tanque (m)</b>	2,65

Los datos del tipo de cabezal y espesor del tanque coinciden con el tanque de almacenamiento de buteno TK-101.

## 7. TUBERÍAS

### 7.1. INTRODUCCIÓN

Las tuberías presentan la función de transportar los fluidos de proceso entre los equipos. El objetivo de su diseño es que este transporte se lleve a cabo de la manera más económica posible, dentro de condiciones seguras (Nayyar, 2000).

El análisis y dimensionamiento de las tuberías se basa en la selección del material de construcción y en la determinación del diámetro óptimo. Para este último cálculo es necesario comprender que, a medida que aumenta este parámetro, se reducen los costes operacionales, pero aumentan los fijos (Kentish, 1988).

### 7.2. DISEÑO DE TUBERÍAS

En esta sección se procede a la determinación del diámetro óptimo de las tuberías, su espesor correspondiente y la caída de presión producida en el fluido tras su paso por ellas.

#### 7.2.1. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO

El procedimiento de selección del diámetro óptimo se basa en su cálculo en función del caudal y de la densidad, la comprobación de la velocidad de flujo y, en caso de verificarse, la selección del diámetro normalizado superior.

En primer lugar, se utiliza la ecuación (7.1) para conocer el diámetro óptimo de una tubería de acero al carbono, material seleccionado para la mayoría de tuberías de la planta de producción de isooctano por su compatibilidad con los fluidos de la planta y su bajo coste.

$$D = 293 G^{0,53} \rho^{-0,37} \quad (7.1)$$

Donde D es el diámetro óptimo de la tubería (m), G es el caudal másico que circula por su interior (kg/s) y  $\rho$  la densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>).

Sin embargo, para ciertos casos, como el transporte de ácido sulfúrico se precisa la utilización de acero inoxidable como material de construcción, para el cual se cambia la constante según la ecuación (7.2).

$$D = 260 G^{0,53} \rho^{-0,37} \quad (7.2)$$

Tras conocer el supuesto diámetro óptimo, se corrobora con la ecuación (7.3).

$$v = \frac{Q_v}{A} \quad (7.3)$$

Donde  $v$  es la velocidad del fluido que circula por el interior de la tubería (m/s),  $Q_v$  es el caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s), sobredimensionado un 10%, y  $A$  es área trasnversal de la tubería cilíndrica (m<sup>2</sup>).

En la Tabla 7.1 se presentan los intervalos recomendados de velocidad orientativos según la naturaleza del fluido.

Tabla 7.1. Velocidades de flujo recomendadas. Fuente: (Sinnott, 2005)

Distancias (m)	A	B
<b>Líquido poco viscoso</b>	Flujo por gravedad	0,15 – 0,30
	Succión de la bomba	0,30 – 0,90
	Salida de la bomba	1,20 – 3,00
	Línea de conducción	1,20 – 2,40
<b>Líquidos viscosos</b>	Aspiración de la bomba	0,06 – 0,15
	Salida de la bomba	0,15 – 0,60
<b>Gases y vapores</b>		9,00 – 30,00
<b>Vapor de agua</b>		9,00 – 15,00
<b>Vapor de alta ( &gt; 8 bar )</b>		30,00 – 60,00

### 7.2.2. ESPESOR DE LA TUBERÍA

El flujo continuo de los compuestos por el interior de la tubería produce erosión con la consecuente necesidad de consideración de un espesor suficiente para soportar esta corrosión. Además, la tubería debe resistir la presión interna a la que se ve sometida. Por todo ello, se presenta la ecuación (7.4) para el cálculo del espesor requerido (McCabe, y otros, 2007)

$$t = \frac{P_i d_i}{20 S + P_i} \quad (7.4)$$

Donde  $t$  es el espesor necesario (m),  $P_i$  la presión manométrica sobredimensionada un 10% (bar),  $d_i$  el diámetro externo de la tubería (m) y  $S$  el esfuerzo máximo permisible del material (bar) a la temperatura de trabajo sobredimensionada 10°C.

Finalmente, se establece el calibre de la tubería, conocido como *Schedule Number* y se comprueba que el valor de presión segura es suficiente en función de la presión de la línea según la ecuación (7.5) (Sinnott, 2005).

$$NC = \frac{1000 P_s}{\sigma_s} \quad (7.5)$$

Donde  $NC$  es el calibre,  $P_s$  la presión de trabajo en condiciones seguras (bar) y  $\sigma_s$  la tensión de trabajo en condiciones seguras (bar).



### 7.2.3. CAÍDA DE PRESIÓN

Con el transporte del fluido a lo largo de la tubería, este pierde energía por la fricción con el material. Por ello, es necesario comprobar que el diámetro seleccionado no conlleva una velocidad elevada que ocasione una caída de presión excesiva. Para ello se utiliza la ecuación (7.6).

$$\frac{\Delta P}{L} = 8f \frac{\rho v^2}{2D_i} \quad (7.6)$$

Donde  $\Delta P/L$  se corresponde con las pérdidas de energía por fricción por unidad de longitud (Pa/m),  $f$  es el factor determinado con la Figura 7.1 conocido  $\varepsilon/d$ , la rugosidad relativa según la Figura 7.2 y determinado el Reynolds con la ecuación (7.7),  $L_{eq}$  es la longitud equivalente de tubería (m), obtenida de la suma de su longitud y la equivalente de sus accesorios según la Figura 7.3,  $\rho$  la densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )  $v$  la velocidad del fluido (m/s) y  $D_i$  el diámetro de la tubería (m).

$$Re = \frac{v D_i \rho}{\mu} \quad (7.7)$$

Donde  $Re$  es el número de Reynolds,  $v$  la velocidad del fluido por la tubería (m/s),  $D_i$  el diámetro interno (m),  $\rho$  la densidad del fluido circulante ( $\text{kg/m}^3$ ) y  $\mu$  su viscosidad (Pa.s)

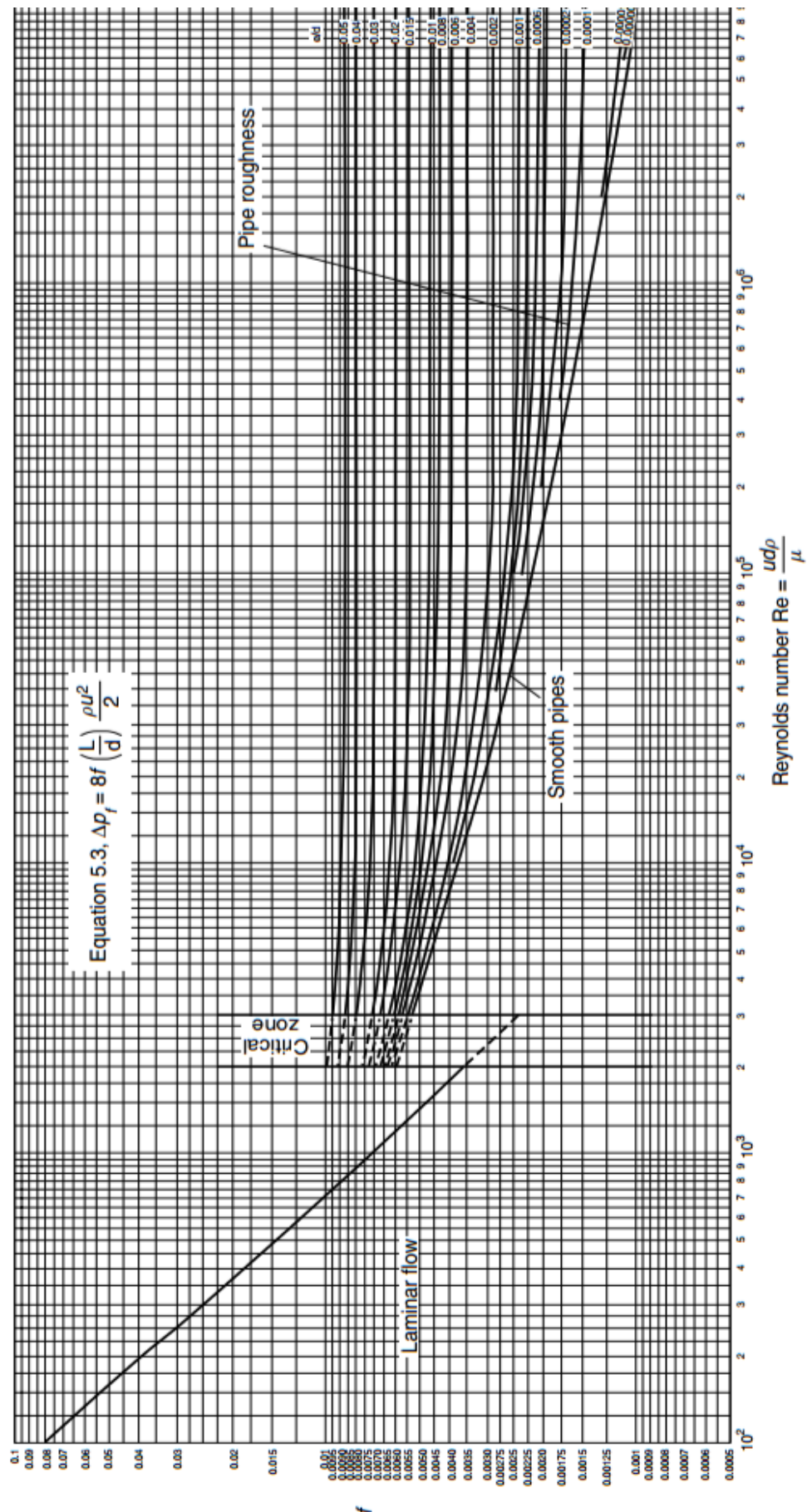


Figura 7.1. Factor de fricción en función del Reynolds y de la rugosidad relativa. Fuente: (Sinnott, 2005)

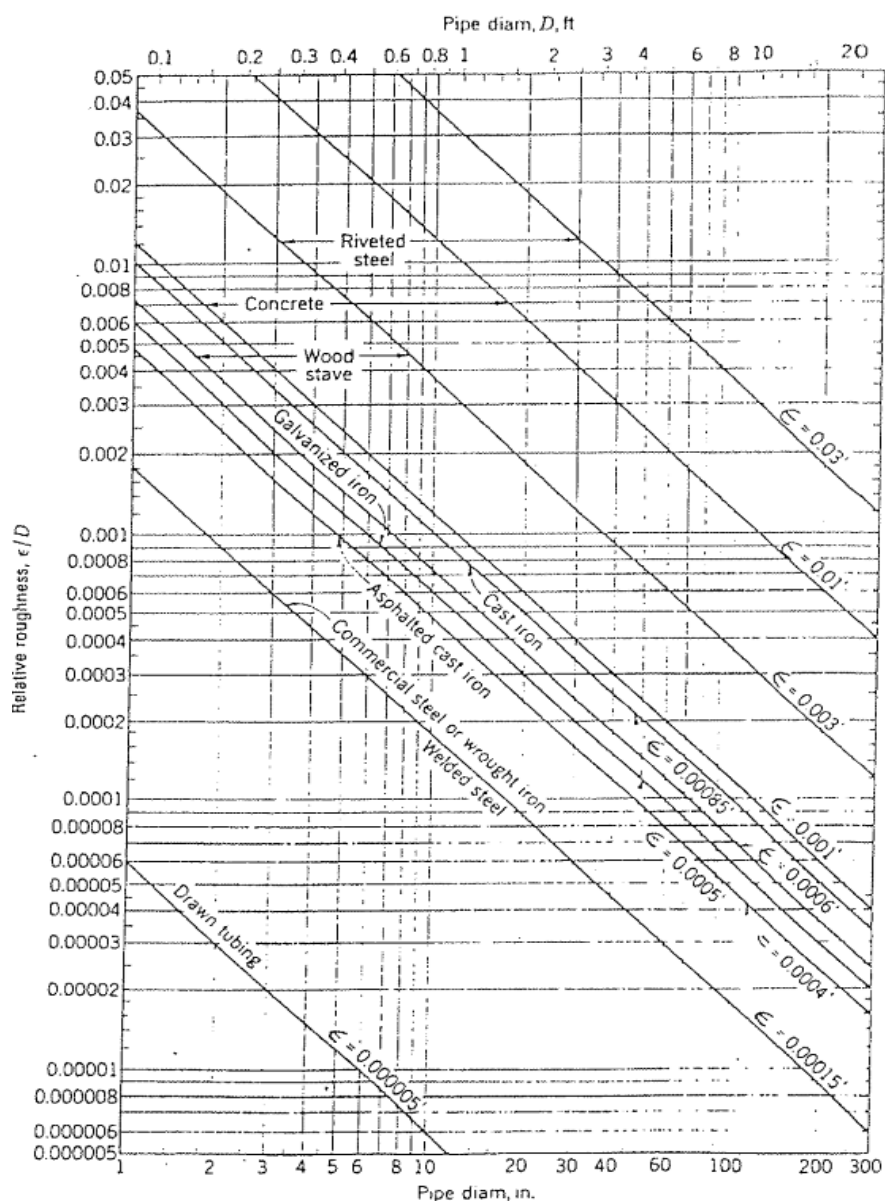


Figura 7.2. Rugosidad relativa de la tubería. Fuente: (Sinnott, 2005)

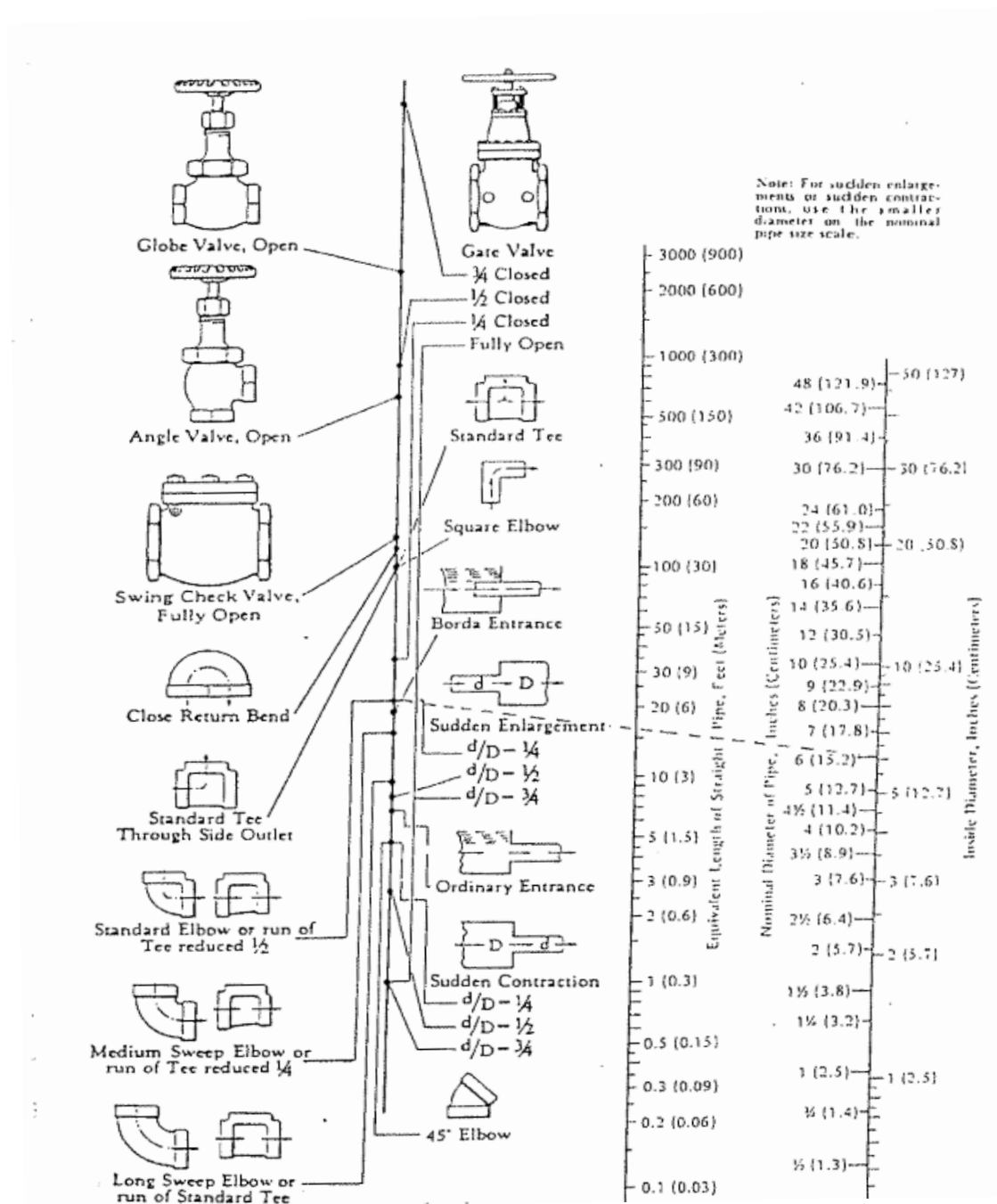


Figura 7.3. Longitudes equivalentes de accesorios. Fuente: (Sinnott, 2005)

Tras obtener el valor, se considera aceptable si es inferior al presentado en la según la naturaleza del fluido a transportar.

Tabla 7.2. Caídas de presión aceptables en tuberías. Fuente: (Sinnott, 2005)

Fluido	Caída de presión admisible (kPa/m)
Líquido poco viscoso bombeado	0,5
Líquido que fluye por gravedad	0,05
Vapores y gases	0,02% presión de línea

### 7.3. DISEÑO DE LAS TUBERÍAS DE LA PLANTA

Tras presentar los pasos a seguir para el diseño de una tubería, se procede a su aplicación en la planta de producción de isootano. En primer lugar, se establece el diámetro óptimo de cada tubería con la ecuación (7.1) o (7.2), según el material y, en el caso de que la velocidad resultante según la ecuación (7.3) sea excesiva atendiendo a la Tabla 7.1, se modifica para ajustar este último parámetro.

Finalmente, se calcula el espesor con la ecuación (7.4) y se comprueba si es suficiente el correspondiente de la tubería según el calibre utilizado. Este último se selecciona con la ecuación (7.5) con el objetivo de obtener una presión de seguridad suficiente valorando la presión de la línea.

Se presentan los resultados en la Tabla 7.3 donde los números de cada corriente hacen referencia al correspondiente según el *Plano 3: Diagrama de Flujo*. Las únicas corrientes que no se incluyen son las dos de reactivos que proceden de la refinería y las corrientes 6, 8 y 10 que hacen referencia al paso del fluido de un compartimento a otro del reactor y no precisar tuberías. Además, se abrevia el material de construcción a AC para el acero al carbono y AI para el inoxidable.

Tabla 7.3. Cálculo del diámetro óptimo de las tuberías de la planta de producción de isooctano

Corriente	Material	Estado	G (kg/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	D <sub>nom</sub> (in)	D <sub>ext</sub> (in)	NC	e (in)	v (m/s)
2	AC	Líquido	0,19	576,4	¾	1,05	40	0,113	0,96
3	AC	Líquido	0,19	576,4	¾	1,05	40	0,113	0,96
4	AC	Líquido	0,19	576,4	¾	1,05	40	0,113	0,96
5	AC	Gas	2,21	7,7	6	6,62	40	0,280	15,40
7	AC	Gas	0,38	7,7	3	3,50	40	0,216	10,44
9	AC	Gas	0,38	7,7	3	3,50	40	0,216	10,26
11	AC	Gas	2,97	7,7	8	8,62	40	0,322	11,95
12	AC	Gas	2,97	18,4	5	5,56	40	0,260	12,53
13	AC	Líquido	2,97	515,0	3	3,50	40	0,216	1,21
14	AC	Líquido	2,97	516,5	3	3,50	40	0,216	1,21
15	AC	Líquido	2,97	482,5	3	3,50	40	0,216	1,29
16	AC	Líquido	2,97	453,3	3	3,50	40	0,216	1,37
17	AC	Gas	1,01	34,2	2 ½	2,87	40	0,203	9,52
18	AC	Líquido	1,01	462,2	2	2,37	40	0,154	1,01
19	AC	Líquido	0,04	462,2	3/8	0,67	40	0,091	0,70
20	AC	Líquido	0,97	462,2	1 ½	1,90	40	0,145	1,59
21	AC	Líquido	0,97	462,2	1 ½	1,90	40	0,145	1,59
22	AC	Líquido	4,09	456,9	3 ½	4,00	40	0,226	1,40

Corriente	Material	Estado	G (kg/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	D <sub>nom</sub> (in)	D <sub>ext</sub> (in)	NC	e (in)	v (m/s)
23	AC	Gas	1,16	42,54	2 ½	2,78	40	0,154	8,80
24	AC	Líquido	2,93	456,7	3	3,50	40	0,216	1,35
25	AC	Líquido	2,93	485,4	3	3,50	40	0,216	1,27
26	AC	Líquido	2,93	532,7	3	3,50	40	0,216	1,15
27	AC	Líquido	2,93	530,1	3	3,50	40	0,216	1,16
28	AI	Líquido	4,89	1849,0	4	4,59	40	0,237	0,32
29	AC	Líquido	9,68	564,5	5	5,56	40	0,258	1,33
30	AC	Líquido	9,68	565,2	5	5,56	40	0,258	1,33
31	AC	Líquido	9,68	549,1	5	5,56	40	0,258	1,37
32	AC	Líquido	9,68	500,9	5	5,56	40	0,258	1,50
33	AC	Gas	67,67	16,65	26	24,00	40	0,688	15,67
34	AC	Líquido	67,67	520,4	14	14,00	40	0,438	1,49
35	AC	Líquido	58,85	520,4	12	12,75	40	0,375	1,55
36	AC	Líquido	58,85	520,4	12	12,75	40	0,375	1,55
37	AC	Líquido	8,82	520,4	5	5,56	40	0,258	1,31
38	AC	Líquido	8,82	532,4	5	5,56	40	0,258	1,28
39	AC	Líquido	0,29	526,0	1	1,31	40	0,133	0,99
40	AC	Líquido	62,09	563,3	12	12,75	40	0,375	1,51
41	AC	Gas	61,52	22,81	26	24,00	40	0,688	10,40
42	AC	Líquido	0,57	539,2	1 ¼	1,66	40	0,140	1,10
43	AC	Líquido	0,33	532,4	1	1,31	40	0,133	1,12
44	AC	Líquido	12,08	532,3	6	6,62	40	0,280	1,22
45	AC	Líquido	12,08	557,9	6	6,62	40	0,280	1,16
46	AC	Líquido	12,08	557,9	6	6,62	40	0,280	1,16
47	AI	Líquido	4,89	1849,0	4	4,59	40	0,237	0,32

Tras ello, se determina la caída de presión según la ecuación (7.6), con la determinación previa del Reynolds con la ecuación (7.7), la rugosidad relativa con la Figura 7.2 y el factor de fricción con la Figura 7.1. Finalmente, calculada la longitud equivalente con la ayuda de la Figura 7.3 se establece la caída de presión total en cada tubería.

Los resultados relacionados con las pérdidas por fricción se presentan en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4. Caídas de presión de las tuberías de la planta de isooctano

Corriente	$\mu$ (Pa.s)	Re	$\varepsilon/D$	f	$\Delta P/L$ (Pa/m)	L (m)	$L_{eq}$ (m)	$\Delta P$ (kPa)
2	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	336,46	58	5,32	21,30
3	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	336,46	54	5,32	19,95
4	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	336,46	50	5,32	18,60
5	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	85,38	3	1,30	0,37
7	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$8,4 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	90,39	3	0,26	0,29
9	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$8,2 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	85,16	3	0,26	0,28
11	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	39,07	81	9,63	3,54
12	$8,6 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	179,97	25	4,55	5,31
13	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	69,56	7	1,25	0,57
14	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	80,92	17	2,85	1,60
15	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	86,63	12	2,20	1,23
16	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	92,21	24	3,75	2,56
17	$9,7 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^6$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	495,31	6	0,37	3,15
18	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	107,07	5	0,31	0,57
19	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	1138,76	-	-	-
20	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	298,73	5	0,24	1,57
21	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	298,73	8	0,25	2,45
22	$9,5 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^5$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	71,76	6	1,33	0,52
23	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^6$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	419,87	6	0,90	2,90
24	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	84,85	32	4,65	3,11
25	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	79,84	20	3,47	1,87
26	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	76,39	22	3,41	1,94
27	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	76,76	32	4,64	2,81
28	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	30,02	12	3,52	0,47
29	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	59,09	10	2,55	0,74
30	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	59,01	32	4,25	2,2
31	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	60,74	6	0,55	0,40
32	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	66,59	46	4,80	3,38
33	$8,4 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^7$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	37,00	6	3,37	9,37
34	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	22,18	5	1,96	0,15
35	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	27,89	5	1,79	0,19



Corriente	$\mu$ (Pa.s)	Re	$\epsilon/D$	f	$\Delta P/L$ (Pa/m)	L (m)	$L_{eq}$ (m)	$\Delta P$ (kPa)
<b>36</b>	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	27,88	8	1,86	0,27
<b>37</b>	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	51,53	42	0,90	2,21
<b>38</b>	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	49,24	32	2,65	1,66
<b>39</b>	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	231,48	-	-	-
<b>40</b>	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	27,84	6	1,21	0,20
<b>41</b>	$9,7 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^7$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	22,32	6	2,61	0,19
<b>42</b>	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	216,90	-	-	-
<b>43</b>	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	299,58	20	1,68	6,47
<b>44</b>	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	40,98	16	2,85	0,77
<b>45</b>	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	39,10	6	1,34	0,20
<b>46</b>	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	39,10	48	8,74	2,01
<b>47</b>	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	30,02	36	4,25	1,21

Para el caso de las corrientes de productos finales como son la de propano, la de butano y la de isooctano se deja en función de la longitud a recorrer hasta la refinería anexa. Por tanto, en función de los requerimientos de la misma, sería necesario considerar una impulsión o un enfriamiento posterior para evitar su evaporación. En el caso de precisarlos a una temperatura baja, lo más probable, se utilizan como integración energética al igual que las corrientes de recirculación. Por el contrario, si se desea a una presión elevada para utilizar como reactivos para otro proceso se utiliza una bomba siguiendo el procedimiento descrito para las demás a continuación.



## 8. BOMBAS

### 8.1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de desplazarse de un punto a otro que se encuentra a mayor presión, un fluido precisa un aporte de energía del exterior. Esta energía debe ser mayor que la del punto final teniendo en cuenta que, durante el desplazamiento, una fracción de ella se va a perder en forma de fricción.

En función del fluido que se desea impulsar cabe diferenciar entre las bombas, utilizadas para el caso de los líquidos o compresores, soplantes y ventiladores, más apropiados para los vapores. La diferencia entre estos tres últimos difiere en su estructura física, lo que les permite también distinguirse por la presión que son capaces de generar, expuestos anteriormente por orden decreciente de este parámetro (Coulson, y otros, 1999).

### 8.2. DISEÑO DE UNA BOMBA

A continuación se presenta el procedimiento de diseño para el posterior cálculo de la potencia requerida y la selección del tipo bomba óptimo. Comentar, en primer lugar, la duplicidad de estos equipos con el objetivo de evitar paradas de planta o de secciones por motivo de un fallo en ellos. Por tanto, las bombas se sitúan en paralelo y mediante la regulación con válvulas se lleva a cabo el mantenimiento de las mismas.

### 8.3. SELECCIÓN DE LAS BOMBAS

Ante la gran variedad de aplicaciones que presentan, existe un amplio mercado de bombas con diferentes alternativas en su estructura y en su mecanismo de funcionamiento.

En primer lugar, se presentan las dos grandes categorías en las que se dividen las bombas. Por un lado existen las bombas de desplazamiento positivo, caracterizadas por la transmisión de la energía por desplazamiento volumétrico de manera mecánica impulsando un caudal de fluido en función del desplazamiento del pistón. Presenta utilidad para un amplio rango de viscosidades. Por otro lado, comentar las bombas cinéticas o dinámicas, cuya agregación de energía se produce por la rotación de un impulsor, suministrando al fluido una elevada velocidad. En la Figura 8.1 se presentan los subgrupos por lo que están formadas cada categoría (Mott, 2006).

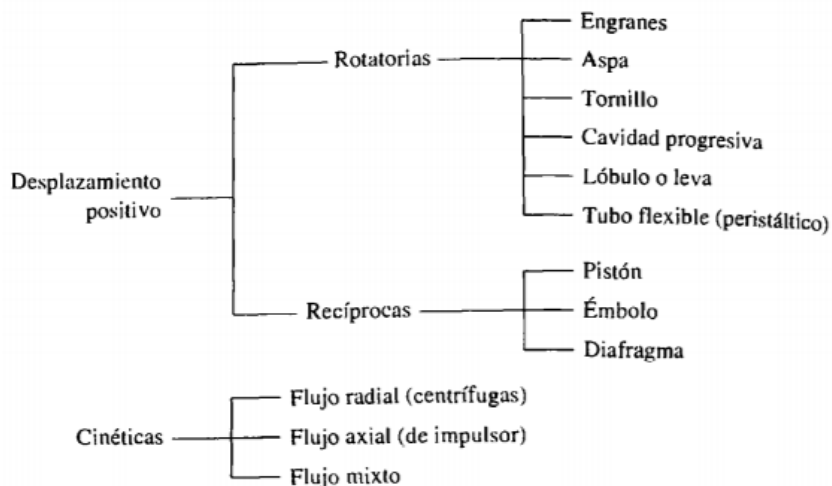


Figura 8.1. Tipos de bombas de desplazamiento positivo y cinéticas

Se nombran a continuación los parámetros influyentes para la selección del tipo de bomba óptima (Coulson, y otros, 1999).

- Naturaleza y flujo volumétrico del líquido a impulsar.
- Condiciones del lado de succión y del lado de descarga de la bomba.
- Carga total de la bomba.
- Tipo de sistema al que la bomba impulsa el fluido.
- Fuente suministradora de potencia (motor eléctrico, motor diésel, turbina de vapor u otros).
- Limitaciones de espacio peso y/o posición.
- Condiciones ambientales.
- Costes del equipo de impulsión, tanto de compra como de operación.
- Códigos y estándares gubernamentales.

Entre ellos, destacar por su mayor relevancia, la capacidad de la bomba y la carga del sistema, motivo por el cual se ha desarrollado una gráfica utilizada para la selección de la bomba en función de estos parámetros, presentada en la Figura 8.2.

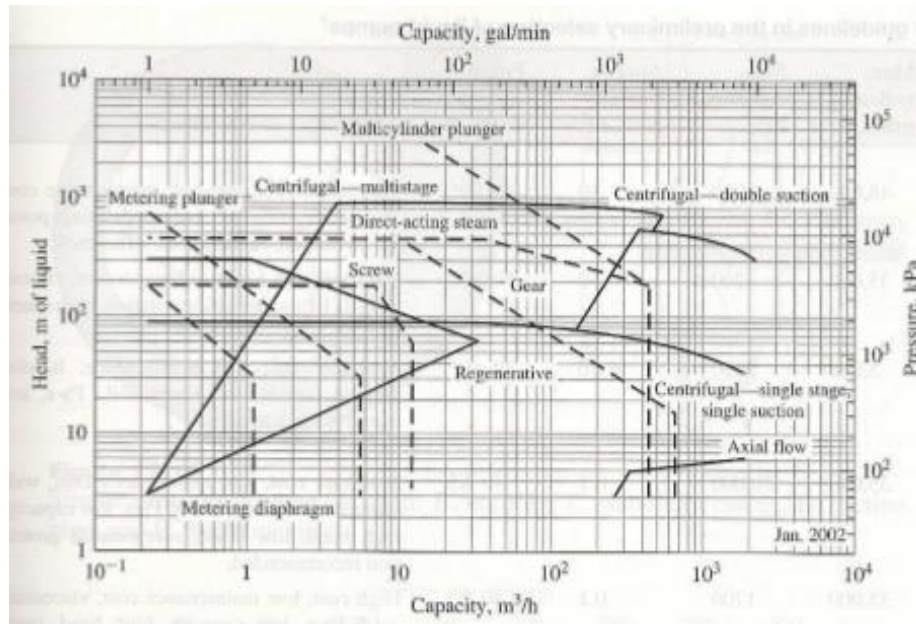


Figura 8.2. Selección del tipo de bomba óptimo. Fuente: (Sinnott, 2005)

Teniendo en cuenta que el valor del primero de ellos se conoce, sólo resta determinar el segundo, cuyo cálculo se explica a continuación.

### 8.3.1. CARGA DEL SISTEMA

La ecuación (8.1) permite el cálculo de la energía requerida por unidad de masa mediante la suma de la energía cinética, potencial, de presión y de fricción respectivamente.

$$\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2\alpha} + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F_a + \Sigma F_i = W \quad (8.1)$$

Donde  $v$  representa la velocidad de la corriente (m/s),  $z$  su altura (m),  $P$  su presión (Pa) y los subíndices 1 y 2 el punto inicial y final, respectivamente, entre los que se quiere desplazar el fluido. Por su parte,  $\Sigma F_a$  y  $\Sigma F_i$  son las pérdidas por fricción de la zona de aspiración e impulsión, respectivamente y  $W$  la energía requerida por unidad de masa (J/kg).

El valor resultante de carga se obtiene con la ecuación (8.2).

$$H = \frac{W}{g} \quad (8.2)$$

Donde  $H$  es la carga de la bomba (m),  $W$  la energía requerida por unidad de masa (J/kg) y  $g$  la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

Tras fijar  $\alpha$  en 1 para régimen turbulento o 0,5 si se trata de laminar, el único parámetro que no se obtiene por sustitución directa de su valor es el coeficiente de fricción, tanto de la aspiración como de la impulsión. Este factor se obtiene en la sección de *Diseño de las tuberías de la planta*.

### 8.3.2. CNPA

Un aspecto destacado en la selección de la bomba es el requerimiento de garantizar que el fluido que se introduce en ella lo hace en unas condiciones que aseguran su estado líquido en todo momento. Para ello, cabe destacar el puerto de succión, es decir, la presión que posee el fluido en la entrada de la bomba, que debe ser suficiente para evitar la cavitación, definida como la formación de burbujas en el líquido. Este efecto depende de la naturaleza del fluido, su temperatura y, en mayor medida, la comentada presión de succión (Mott, 2006).

El parámetro que permite el conocimiento de la existencia o no de cavitación se conoce como carga neta positiva de aspiración (CNPA), determinada por la ecuación (8.3).

$$CNPA_{disponible} = H_a - \frac{P_v}{\rho \cdot g} = (h_1 - h_3) + \frac{P_1 - P_v}{\rho \cdot g} - \frac{\sum F_a}{g} \quad (8.3)$$

Siendo  $CNPA_{disponible}$  la carga neta positiva de aspiración en la entrada de la bomba (m),  $H$  la carga de la bomba (m),  $h_1$  y  $h_3$  la altura del fluido en el punto inicial y en la entrada de la bomba, respectivamente (m),  $P_1$  la presión inicial del fluido ( $P_a$ ),  $P_v$  y  $\rho$  la presión de vapor ( $P_a$ ) y la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) del fluido, respectivamente,  $g$  la aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ) y  $\sum F_a$  las pérdidas de presión en la aspiración de la bomba.

El valor obtenido de  $CNPA_{disponible}$ , sobredimensionado un 10% por seguridad, debe ser superior al  $CNPA_{requerido}$ , especificado por el fabricante de la bomba. Cuanto mayor sea esta diferencia, mayor seguridad del sistema de bombeo y menor probabilidad de cavitación ante fluctuaciones en las condiciones de la corriente a impulsar.

### 8.3.3. POTENCIA REQUERIDA POR LA BOMBA

Finalmente, con el objetivo de establecer el coste de operación de la bomba, se calcula la potencia necesaria para la impulsión de un fluido según la ecuación (8.4)

$$P = \rho \cdot Q \cdot W \quad (8.4)$$

Siendo  $P$  la potencia requerida por la bomba ( $W$ ),  $\rho$  la densidad de la bomba ( $\text{kg/m}^3$ ),  $Q$  el caudal volumétrico ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) que se impulsa, sobredimensionado un 10%, y  $W$  la energía requerida por unidad de masa ( $\text{J/kg}$ ).

Es necesario considerar un rendimiento ya que no toda la potencia suministrada por la fuente (motor, turbina...) se transmite a la bomba sino que se producen pérdidas por la fricción mecánica y la turbulencia que se crea al circular el fluido por su interior. Por tanto, la potencia real consumida por la bomb se establece con la ecuación (8.5).

$$P_{\text{real}} = \frac{P}{\eta} \quad (8.5)$$

Donde  $P_{\text{real}}$  es la potencia real consumida por la bomba (W),  $P$  es la potencia requerida teóricamente (W) y  $\eta$  el rendimiento de la bomba, ejemplificado para una bomba centrífuga en la Figura 8.3.

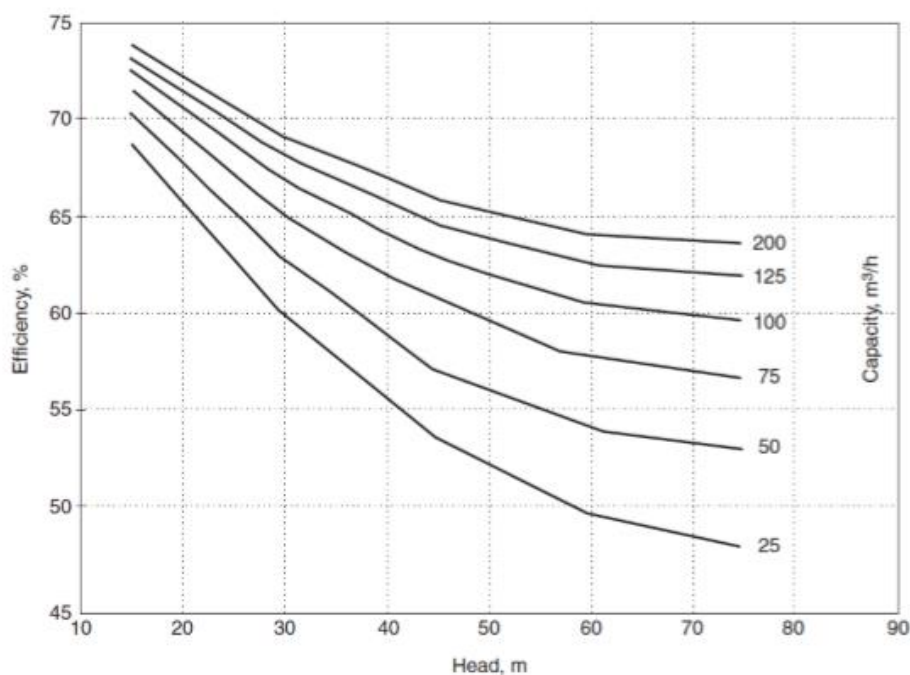


Figura 8.3. Rendimiento de una bomba centrífuga. Fuente: (Sinnott, 2005)

#### 8.4. BOMBA P-301

La bomba P-301 A/B se utiliza para la impulsión del líquido resultante de la condensación del vapor generado por la autorefrigeración del reactor R-201. Esta corriente, tras su impulsión, se introduce en la columna de destilación T-301 tras su calentamiento en los intercambiadores de calor EX-302 y EX-303.

Para el diseño de la bomba, conocido su caudal, sólo resta por calcular la carga. Para ello se resuelven las ecuaciones (8.1) y (8.2). Los datos resultantes se presentan en la Tabla 8.1. Comentar la simplificación del término de velocidad al presentar velocidades muy bajas tanto en la salida del decantador como en la llegada a la columna. El punto inicial es la salida del intercambiador de calor EX-301 y el punto final la entrada a la columna.

Tabla 8.1. Carga de la bomba P-301

Parámetro	Valor
Altura inicial, $z_1$ (m)	0,20
Altura final, $z_2$ (m)	3,00
Densidad del fluido, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	516,5
Presión inicial, $P_1$ (kPa)	730,00
Presión final, $P_2$ (kPa)	1.500,00
$\Sigma F_a$ (J/kg)	1,10
$\Sigma F_t$ (J/kg)	44,33
Carga de la bomba, $H$ (m)	159,40

Mencionar que  $\Sigma F_a$  y  $\Sigma F_t$  incluyen las caídas de presión en la tubería y en los equipos intermedios como es el caso de los intercambiadores de calor EX-302 y EX-303 en la tubería de impulsión, en esta ocasión. Además, el valor de la presión final se toma para que la corriente de cabezas se encuentre a una diferencia de, aproximadamente, 20°C con respecto a la entrada del agua de refrigeración.

Tras su cálculo se procede a la selección del tipo de bomba óptimo según la Figura 8.2 que, para esta ocasión, se basa en la utilización de una bomba centrífuga multietapa, ampliamente utilizada a nivel industrial por su versatilidad y adecuada para esta aplicación, además de poseer un coste bajo de mantenimiento y una gran simplicidad de operación.

Complementando la selección de la bomba, se determina el CNPA disponible con la (8.3), con el objetivo de que sea superior a la requerida sobredimensionada un 10%. Se presentan en la Tabla 8.2 el valor de este parámetro y los factores influyentes en su cálculo junto con los ya presentados en la Tabla 8.1.

Tabla 8.2. Cálculo de la CNPA<sub>disponible</sub> P-301

Parámetro	Valor
Altura de la bomba, $h_3$ (m)	-5,00
Presión de vapor, $P_v$ (Pa)	$7 \cdot 10^5$
CNPA <sub>requerida</sub> (m)	10,01

La altura negativa indica que se encuentra 5 metros por debajo del nivel del intercambiador de calor ya que, como el líquido introducido se encuentra tan sólo ligeramente subenfriado, se precisa situar la bomba a un nivel inferior para evitar la cavitación. Si se precisase una CNPA mayor se podría estudiar la colocación de la bomba todavía mas abajo.

Finalmente, se determina el valor de la potencia requerida según las ecuaciones (8.4) y (8.5), donde la energía por unidad de masa,  $W$ , es resultado del producto de la carga del sistema y la aceleración de la gravedad y el rendimiento se obtiene en la Figura 8.3. Los resultados se presentan en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3. Potencia de la bomba P-301

Parámetro	Valor
Potencia teórica, $P$ (kW)	4,28
Rendimiento, $\eta$ (%)	50,00
Potencia real, $P_{\text{real}}$ (kW)	8,56

El diseño de las otras dos bombas de la planta de producción de isooctano se lleva a cabo por un procedimiento análogo descrito en esta sección. Por tal motivo, se presenta tan sólo el objetivo de cada una, su tipo y las tablas del cálculo de la carga, la CNPA y la potencia requerida.

## 8.5. BOMBA P-401

El objetivo de la bomba P-401 es aumentar la presión de la corriente líquida procedente del reactor hasta los 10,5 bares para, tras su calentamiento, no experimentar un cambio de fase e introducirse en la columna de destilación T-401 como líquido. Se presenta en la Tabla 8.4 los parámetros necesarios para el cálculo de la carga, así como el valor obtenido.

Tabla 8.4. Carga de la bomba P-401

Parámetro	Valor
Altura inicial, $z_1$ (m)	2,50
Altura final, $z_2$ (m)	25,00
Densidad del fluido, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	564,5
Presión inicial, $P_1$ (kPa)	$2,70 \cdot 10^5$
Presión final, $P_2$ (kPa)	$10,5 \cdot 10^5$
$\Sigma F_a$ (J/kg)	1,31
$\Sigma F_i$ (J/kg)	37,90
Carga de la bomba, $H$ (m)	163,54

El tipo de bomba es el mismo en el caso de la P-301 y en la Tabla 8.5 y Tabla 8.6 se presentan la CNPA y la potencia de la bomba, respectivamente.

Tabla 8.5. Cálculo de la CNPA<sub>disponible</sub>

Parámetro	Valor
Altura de la bomba, $h_3$ (m)	-5,00
Presión de vapor, $P_v$ (Pa)	$2,7 \cdot 10^5$
CNPA <sub>requerida</sub> (m)	7,42

Comentar que, la altura es con respecto a la boquilla de salida del reactor, por ello es negativa la altura de la bomba al situarse a una altura inferior.

Tabla 8.6. Potencia de la bomba P-401

Parámetro	Valor
Potencia teórica, $P$ (kW)	15,40
Rendimiento, $\eta$ (%)	50,00
Potencia real, $P_{\text{real}}$ (kW)	30,80

### 8.1. BOMBA P-201

El objetivo de la bomba P-201 es la impulsión del ácido sulfúrico procedente del reactor hasta los 3,25 bares para su recirculación al reactor tras separarlo por decantación o introducirlo fresco del tanque TK-202.

Tabla 8.7. Carga de la bomba P-201

Parámetro	Valor
Altura inicial, $z_1$ (m)	0,50
Altura final, $z_2$ (m)	2,50
Densidad del fluido, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1890
Presión inicial, $P_1$ (kPa)	$2,7 \cdot 10^5$
Presión final, $P_2$ (kPa)	$3,2 \cdot 10^5$
$\Sigma F_a$ (J/kg)	0,25
$\Sigma F_t$ (J/kg)	0,64
Carga de la bomba, $H$ (m)	5,05

La bomba utilizada es centrífuga y en la Tabla 8.8 y

Tabla 8.9 se detallan los valores necesarios para la determinación de la CNPA y la potencia de la bomba, respectivamente.



Tabla 8.8. Cálculo de la CNPA<sub>disponible</sub>

Parámetro	Valor
Altura de la bomba, $h_3$ (m)	0,20
Presión de vapor, $P_v$ (kPa)	0,04
CNPA <sub>requerida</sub> (m)	14,84

Tabla 8.9. Potencia de la bomba P-201

Parámetro	Valor
Potencia teórica, $P$ (W)	220,61
Rendimiento, $\eta$ (%)	75,00
Potencia real, $P_{\text{real}}$ (W)	294,15

## 9. COMPRESOR

### 9.1. INTRODUCCIÓN

Un compresor es un equipo destinado al aumento de la presión de un vapor, como se explicó en la sección denominada Bombas. Además del transporte de un vapor de un punto a otro, la utilización de este equipo también presenta gran relevancia en los procesos que se desea condensar el vapor, por lo que se aumenta su presión para evitar la necesidad de una reducción elevada de la temperatura.

### 9.2. TIPOS DE COMPRESOR

En la industria se presenta gran variedad de compresor según la aplicación del equipo. Para la determinación del óptimo se analizan las siguientes variables (Mott, 2006).

- Satisfacción de las necesidades del proceso
- Naturaleza del gas
- Condiciones de operación: caudal presión y temperatura
- Continuidad o discontinuidad del proceso
- Flexibilidad de la planta
- Impacto ambiental
- Automatización del proceso
- Aspectos económicos

Tras su presentación, cabe destacar la importancia del caudal a comprimir y la presión de descarga de compresor. Por tal motivo, se presenta la Figura 9.1 el compresor óptimo en función de estos parámetros.

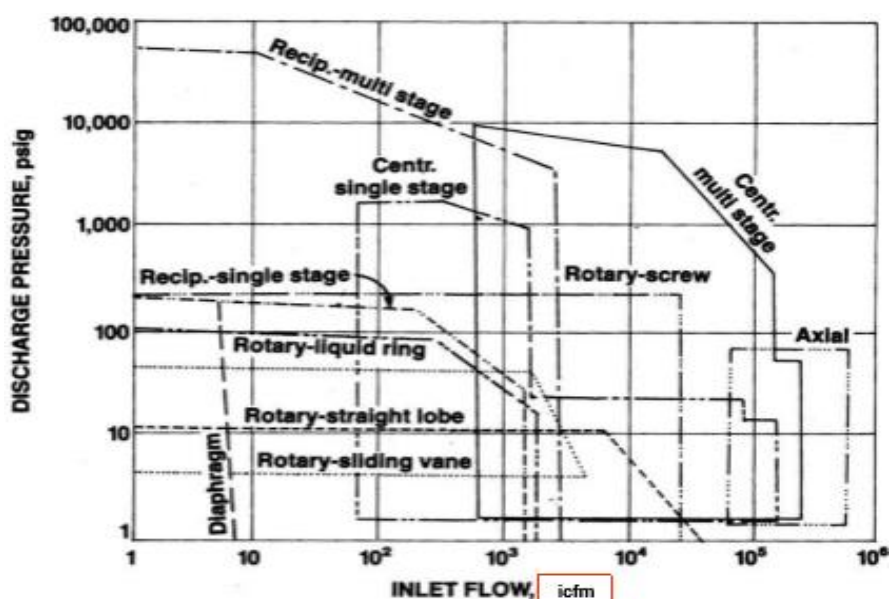


Figura 9.1. Tipos de compresores en función de la  $P_d$  y el caudal. Fuente: (Mott, 2006)

### 9.3. DISEÑO DE UN COMPRESOR

En primer lugar, comentar el cambio significativo, con respecto al diseño de bombas, de la temperatura de salida del fluido. Al tratarse de un vapor, se produce un aumento de temperatura considerable en la salida, por motivo de la compresión, la cual se determina con la ecuación (9.1)

$$T_d = T_s \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (9.1)$$

Donde  $T_d$  es la temperatura de descarga del compresor (K),  $T_s$  la de succión (K),  $P_d$  la presión de descarga (Pa),  $P_s$  la de succión (Pa) y  $\gamma$  la relación de capacidades caloríficas ( $C_p/C_v$ ).

El valor de la temperatura de salida es ideal y presenta una buena aproximación al tratarse de presiones y temperaturas bajas. Se corrobora el valor con un simulador.

Por otro lado, se determina el número de etapas de compresión mediante la relación de presiones establecida en la ecuación (9.2).

$$R = \frac{P_d}{P_s} \quad (9.2)$$

Donde  $R$  es el factor que determina el número de etapas de compresión,  $P_d$  es la presión de descarga (Pa) y  $P_s$  la de succión (Pa)

El siguiente paso es la determinación de la potencia requerida para la compresión con la ecuación (9.3).

$$P = W \cdot Q_m \quad (9.3)$$

Donde  $P$  es la potencia requerida (W),  $W$  es la energía por unidad de volumen (J/kg), calculada con la ecuación (9.4) y  $Q_m$  es el caudal másico a comprimir.

$$W = \frac{\gamma}{\gamma-1} P_s v_s \left[ \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{RT_s}{M} \left[ \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (9.4)$$

Donde  $W$  es la energía requerida por unidad de masa (J/kg),  $\gamma$  es la relación de capacidades caloríficas ( $C_p/C_v$ ),  $v_s$  el volumen específico ( $m^3/kg$ ),  $R$  es la constante universal de los gases ideales (J/mol.K),  $T_s$  la temperatura de entrada (K),  $M$  la masa molecular (kg/mol),  $P_d$  la presión de descarga (Pa) y  $P_s$  la de succión (Pa).

Finalmente, se calcula la potencia real requerida con la ecuación (9.5).

$$P_r = \frac{P}{\eta} \quad (9.5)$$

Donde  $P_r$  es la potencia real (W),  $P$  la potencia requerida teórica (W) y  $\eta$  el rendimiento, establecido

## 9.4. COMPRESOR C-301

La finalidad que presenta este compresor es el aumento de la presión de la corriente resultante de la mezcla de los vapores producidos en el reactor R-201 para su autorefrigeración. Tras ello, la corriente se condensa para el posterior tratamiento en la columna de destilación T-301.

En primer lugar, establecer la presión de salida del compresor en 7,9 bares, con el objetivo de producir esta condensación a 53°C, aproximadamente, pudiendo utilizar para ello agua de refrigeración.

Por tanto, mediante la utilización de la ecuación (9.2) y la Figura 9.1 se determina el número de etapas de compresión y el tipo de compresor, respectivamente. Se presenta los resultados en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1. Selección del tipo de compresor

Parámetro	Valor
Presión de succión, $P_s$ (kPa)	270,00
Presión de descarga, $P_d$ (kPa)	790,00
Coefficiente R	2,63
Número de etapas	1,00
Caudal a comprimir, $Q_v$ (ft <sup>3</sup> /min)	10,22
Tipo de compresor	Reciprocante

Por tanto, se utiliza un compresor reciprocante de etapa simple.

A continuación se procede al diseño del equipo. En primer lugar se utiliza la ecuación (9.1) para el cálculo de la temperatura de descarga. Tras ello, se determina la energía por unidad de masa requerida según la ecuación (9.4) con el objetivo del cálculo de la potencia requerida teóricamente con la ecuación (9.3). Finalmente, conocido el rendimiento del compresor se establece la potencia real requerida mediante la resolución de la ecuación (9.5). Se presentan los resultados en la Tabla 9.2.

Tabla 9.2. Cálculo de la potencia requerida C-301

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Temperatura de succión, <math>T_s</math> (K)</b>	293,00
<b>Presión de succión, <math>P_s</math> (kPa)</b>	30,00
<b>Presión de descarga, <math>P_d</math> (kPa)</b>	79,00
<b>Coeficiente <math>\gamma</math></b>	1,13
<b>Temperatura de descarga, <math>T_d</math> (K)</b>	327,52
<b>Peso molecular (g/mol)</b>	57,13
<b>Constante R (J/mol.K)</b>	8,13
<b>Energía por unidad de masa, W (kJ/kg)</b>	43,65
<b>Potencia teórica, P (kW)</b>	118,86
<b>Rendimiento, <math>\eta</math> (%)</b>	0,75
<b>Potencia real, <math>P_{real}</math> (kW)</b>	158,48

Los valores ofrecidos por el simulador Aspen Hysys son una temperatura de descarga de 328,33 K y una potencia requerida de 151,45 kW, presentando errores relativos inferiores al 5%

## 10. TURBINA

### 10.1. INTRODUCCIÓN

Las turbinas son equipos complementarios a los compresores y bombas, es decir, a partir de la energía de un fluido permiten obtener energía eléctrica. Dicho fluido genera un movimiento de rotación que, al ser transferido a un eje, mueve una máquina o un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica. Se plantea la posibilidad de instalar una en la planta de producción de isooctano con el objetivo de aprovechar la energía que posee la corriente de recirculación de la despropanizadora para reducir el coste requerido por el compresor. Aún así, se presenta también la existencia de una válvula de seguridad para, en el caso de fallo en este equipo, poder reducir igualmente la presión de la corriente.

### 10.2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El procedimiento de diseño es análogo al de una bomba para el caso de turbinas de líquidos con la salvedad de que, en esta ocasión, la potencia obtenida se suministra gracias a la pérdida de presión del fluido, inverso al caso de las bombas.

### 10.3. TURBINA T-301

Valorando que sólo se produce una pérdida de presión en el equipo, ya que para determinar un porcentaje aproximado de la energía ahorrada en el compresor se pueden despreciar la fricción en tuberías y las diferencias de velocidad y altura, se presenta el cálculo de la potencia en la

Tabla 10.1. Potencias de la turbina TB-301

Parámetro	Valor
Densidad del fluido, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1.890
Presión inicial, $P_1$ (kPa)	$14,5 \cdot 10^5$
Presión final, $P_2$ (kPa)	$6,00 \cdot 10^5$
Potencia teórica, $P$ (kW)	4,10
Rendimiento, $\eta$ (%)	75
Potencia teórica, $P$ (kW)	3,07

Se plantea así la opción de la posibilidad de utilizar una turbina para reducir los requerimientos de energía del compresor o de una bomba.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

KOKLIN A. E., CHAN V. M. Kh., KAZANSKII V.B., BOGDAN V.I. 2010. *Alkylation of isobutane with C4 olefins under conventional and supercritical conditions. Kinetics and Catalysis*. 2010. [En línea] [Citado el: 15 de Abril de 2017.] [Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1134%2FS0023158410030146.pdf>]

ASHBY, M. F. *Materials selection in mechanical design*. Cambridge, UK. Granta, 2009.

BACKHURST, J. R. Y HARKER, J. H. *Process Plant Design*. Newcastle, Reino Unido. Heinemann Educational Books London, 1979. ISBN: 0-435-72563-7.

ÇENGEL, Yunus A. *Tranferencia de calor y masa*. Nevada, EE.UU. McGraw-Hill, 2007. ISBN: 978-970-10-6173-2.

FELLER, Andreas y Lercher, JOHANNES A. *Chemistry and Technology of Isobutene/Alkene Alkylation Catalyzed by Liquid and Solid Acids*. Massachusetts, EE.UU. Elsevier B.V. 2004. ISBN: 0-12-007848-1.

FIESER, Louis F. y FIESER, Mary. *Química orgánica fundamental*. Universidad de Harvard, EE.UU. Reverté, S.A., 1985. ISBN: 84-291-7161-4.

HOLLAND, F. y CHAPMAN, F. *Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks*. Nueva York, EE.UU. Van Nostrand Reinhold, 1966. ISBN: 02-789-1590-6.

INCROPERA, Frank P. y WITT, David P. D. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México. John Wiley & Sons, 1999. ISBN: 970-17-0170-4.

KAISER, M. J., HANDWERK, G. E. y GARY, J. H. 2007. *Petroleum Refining technology and economics*. Florida, EE.UU. CRC Press, 2007. ISBN: 978-0-203-90792-4.

KREITH, Frank, MANGLIK, Raj M. y BOHN, Mark S. *Principios de transferencia de calor*. Cengage Learning, 2013. ISBN: 978-607-481-615-0.

KUMARESAN, T. y Johi, JYESHTHARAJ B. Effect of impeller design on the flow pattern and mixing in stirred tanks. Bombay, India, 2005. [En línea] [Citado el: 14 de Mayo de 2017.]. [Disponible en: [http://ac.els-cdn.com/S1385894705003645/1-s2.0-S1385894705003645-main.pdf?\\_tid=6da9262a-58ca-11e7-837f-00000aab0f27&acdnat=1498301390\\_62620504f20d9d60d0eed83f1de163cc](http://ac.els-cdn.com/S1385894705003645/1-s2.0-S1385894705003645-main.pdf?_tid=6da9262a-58ca-11e7-837f-00000aab0f27&acdnat=1498301390_62620504f20d9d60d0eed83f1de163cc)]

LEVENSPIEL, Octave. *Ingeniería de las reacciones químicas*. Oregón, EE.UU. Limusa Wiley, 2004. ISBN: 968-18-5860-3.

LUYBEN, William L. *Design and Control of an Autorefrigerated Alkylation Process*. 2009. [En línea] [Citado el: 1 de Marzo de 2017.] [Disponible en <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie9012387>]

MAHAJANAM, R. V., ZHENG, A. Y DOUGLAS, J.M. *A shortcut method for control variable section and its application to the butane alkylation process*, 2001.

MCKETTA, John J. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. Nueva York, EEUU. Marcel Dekker, 1977.

NAUMAN, E. Bruc. *Chemical reactor design, optimization and scaleup*. New Jersey, EE.UU. John Wiley & Sons, 2008. ISBN: 978-0-470-10525-2.

PAUL, Edward L., ATIEMO-OBENG, Victor A. y KRESTA, Suzanne M. *Handbook of industrial mixing. Science and practice*. New Jersey, EE.UU. John Wiley & Sons, 2004. ISBN: 0-471-26919-0.

RICHARDSON, J. F., HARKER, J. H. Y BACKHURST, J. R. *Chemical Engineering*. Vol. 2: *Particle Technology and Separation Processes*. Londres, Reino Unido. Butterworth Heinemann, 2002. ISBN: 0-7506-4445-1.

SINNOT, R. K. *Chemical Engineering Design. Coulson & Richardson's Chemical Engineering*. Vol. 6. Fourth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN: 0-7506-6538-6.

WALAS, Stanley M. *Chemical Process Equipment*. Kansas, EE.UU. Butterworth-Heinemann, 1990. ISBN: 00-7506-9385-1.

WANKAT, Phillip C. *Separation Process Engineering*. New Jersey, EE.UU. Prentice Hall, 2012. ISBN: 0-13-138227-6.



---

# ANEXO III: ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

---

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOCTANO

# ÍNDICE DEL ANEXO III

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	INVERSIÓN INICIAL.....	4
3.	INGRESOS POR VENTAS .....	5
4.	COSTES DE PRODUCCIÓN .....	6
4.1.	Costes de fabricación.....	6
4.1.1.	Materias primas .....	6
4.1.2.	Utilidades.....	6
4.1.3.	Mano de obra.....	6
4.1.4.	Servicios generales .....	7
4.1.5.	Suministros .....	7
4.1.6.	Mantenimiento.....	7
4.1.7.	Laboratorio .....	7
4.1.8.	Directivos y técnicos .....	7
4.1.9.	Otros gastos .....	7
4.2.	Amortización .....	8
4.3.	Costes de distribución y ventas.....	8
4.4.	Costes de producción anuales .....	8
5.	FINANCIACIÓN .....	9
6.	FLUJOS DE CAJA.....	10
7.	ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL PROYECTO .....	13
7.1.	Valor Actual Neto (VAN).....	13
7.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	13
7.3.	Tiempo de Retorno de capital (Payback).....	13
8.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	15
8.1.	Introducción.....	15
8.2.	Resultados.....	15

## 1. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta la finalidad de estudiar, de manera preliminar, la rentabilidad de la planta de producción de Isooctano. Para ello, se lleva a cabo un análisis económico mediante el cálculo de tres parámetros que permite evaluar si la planta es viable.

En primer lugar, el Valor Actual Neto (VAN), es una herramienta económica utilizada para evaluar los flujos de caja generados en un futuro, con lo cual debe proporcionar un valor positiva la final de la vida útil de la planta.

Tras ello, se determina la Tasa Interna de Retorno (TIR), es decir, la tasa de interés que permitiría reinvertir los fondos utilizados para financiar el proyecto tras su vida útil. Este valor debe ser superior al tipo de interés para que la planta sea viable.

Por último, complementando la información, se determina el periodo de retorno o *payback* que establece el año en el cual la suma de los cobros actualizados es igual a la suma de los pagos actualizados.

Para llevar a cabo estos cálculos se precisa llevar a cabo la estimación de los ingresos y costes de la planta para un caso base, tomando los valores de los factores más influyentes que se consideren más probables. Aun así, comentar que la incertidumbre que presenta la variabilidad del mercado del petróleo impide establecer precios que se puedan considerar estables, se añade un análisis de sensibilidad realizado al precio del producto para conocer el efecto de esta inestabilidad, así como al de la materia prima.

## 2. INVERSIÓN INICIAL

Con el objetivo de la construcción y puesta en marcha de la planta se precisa una inversión sobre la que se obtienen ingresos gracias a la venta de los productos generados.

Esta inversión inicial se compone del capital inmovilizado y del capital circulante.

El primero de ellos compete todos los equipos y actividad necesaria para la construcción de la planta mientras que el segundo representa el dinero adicional requerido para la puesta en marcha, operación y mantenimiento. Este último consta del valor de la materia prima, producto y subproducto de inventario, el efecto disponible, la diferencia entre las cuentas por cobrar y las cuentas por pagar y las piezas de repuesto del inventario.

Los valores de los dos parámetros influyentes junto con el de la inversión se presentan en la Tabla 2.1 y su cálculo se detalla en el *Documento V: Presupuesto*.

Tabla 2.1. Presupuesto total de la planta

<b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOCTANO</b>	
<b>Ítem</b>	<b>Importe (€)</b>
1. Capital fijo	
A. Obra civil	948.085
B. Equipos mecánicos	4.424.397
C. Instalación eléctrica	632.056
D. Instrumentación y control	948.085
E. Tuberías y accesorios	2.117.390
F. Seguridad y salud	31.603
G. Contingencias	632.057
Total capital fijo	9.733.674
2. Capital circulante	973.367
<b>TOTAL</b>	<b>10.707.041</b>

### 3. INGRESOS POR VENTAS

Los ingresos resultantes de las ventas son la suma del producto principal, en mayor medida, junto con la de comercialización de dos subproductos.

La planta posee una capacidad de producción de 15.000 t/año de isooctano por lo que los ingresos de este producto ascienden a 16.500.000 €/año.

En segundo lugar se presentan los subproducto que se corresponden con propano y butano, cuyos caudales son de 1.000 y 7.600 t/año respectivamente por lo que a su venta se le atribuye un ingreso de 2.680.000 €/año.

Por tanto, los ingresos aportados por la comercialización del producto y subproductos alcanza el valor de 19.180.000 €/año.

## 4. COSTES DE PRODUCCIÓN

Se procede a la determinación de los costes de producción de la planta de producción de isooctano como suma de dos factores, los costes de fabricación y los de administración (Ortuño, 1991)

### 4.1. COSTES DE FABRICACIÓN

Se calcula como la suma del coste de las materias primas, de las utilidades, de la mano de obra, tanto directa como indirecta, de los servicios generales, de los suministros, del mantenimiento, de laboratorio, de directivos y técnicos, de los impuestos, de los seguros, de los derechos industriales así como otros gastos. Se presenta su determinación a continuación.

#### 4.1.1. MATERIAS PRIMAS

Las materias primas de la planta son la corriente de isobutano y la de buteno, procedentes de la refinería. Teniendo en cuenta los costes de 0,35 €/kg y 0,57 €/kg, respectivamente, y que se consumen 8.700 y 15.000 t/año de manera aproximada, el coste de ambas asciende a 11.600.000 €/año.

#### 4.1.2. UTILIDADES

Las utilidades que se precisan en la planta son agua de refrigeración y vapor, tanto de baja como de media. Teniendo en cuenta los caudales de utilidades presentados en el Documento I: Memoria, en concreto en el apartado de materias primas y su coste se establece un coste de utilidades de 2.256.378 €/año.

#### 4.1.3. MANO DE OBRA

Esta categoría presenta dos subclases. En primer lugar se analiza la mano de obra directa, aquella caracterizada por su adscripción a los procesos fabriles propiamente dichos. Se establece el número de 40 operarios, considerados suficientes para el funcionamiento continuo de la planta. Su salario asciende a 1.200€ al mes, estableciendo así un coste por mano de obra directa de 672.000 €/año.

En segundo lugar, estimar el coste la mano de obra indirecta, compuesta por el personal adscrito a tareas que no se consideran directamente ligadas a la producción como el caso de los encargados, guardas o aprendices, entre otros. Su coste se estima entre el 15 y el 40% de la mano de obra directa por lo que, tomando el coeficiente del 20%, se presenta un coste por mano de obra indirecta de 134.400 €/año.

Así, la mano de obra global presenta un precio anual de 806.400 €.

#### 4.1.4. SERVICIOS GENERALES

En este apartado se estima el coste de los servicios excluyendo las utilidades antes comentadas. Es decir, el consumo de electricidad en la planta, el agua exceptuando la utilizada en los intercambiadores y el aire comprimido para los equipos de control, entre otros. Por ello, se estima como el 5% del capital inmovilizado, alcanzando así un valor de 486.684 €/año.

#### 4.1.5. SUMINISTROS

Aplicando un factor comprendido entre el 0,2 y el 1,5% del capital inmovilizado se puede estimar el coste correspondiente a los suministros de adquisición de manera relativamente regular como son las mangueras, equipamiento o lubricantes, entre otros. Tomando el factor como el 1% se establece el coste de suministros en 97.337 €/año.

#### 4.1.6. MANTENIMIENTO

Se considera mantenimiento al conjunto de gastos de conservación originados por la revisión periódica de la maquinaria y aparatos, la sustitución de las piezas desgastadas y las reparaciones necesarias. Teniendo en cuenta que, en esta ocasión, se trata de una industria química típica, el porcentaje correspondiente se estima en torno al 5-7% del capital inmovilizado, tomando el extremo inferior en esta ocasión. Así, el coste de mantenimiento posee un valor anual de 486.684 €.

#### 4.1.7. LABORATORIO

Este coste se relaciona con el laboratorio fabril con el objetivo de controlar la calidad del producto fabricado, mediante toma de muestras, análisis y dictámenes de materias primas, combustibles, productos intermedios y, en general, todos los materiales entrantes en la planta.

Se aproxima su coste como el 10-20% de la mano de obra directa y, tomando el extremo superior, se alcanza un valor de 134.400 €/año.

#### 4.1.8. DIRECTIVOS Y TÉCNICOS

El coeficiente para su determinación presenta gran variabilidad en función de la complejidad de la planta por lo que se toma un porcentaje de referencia del 30% de la mano de obra directa. Así, el coste asociado a los directivos y técnicos presente un valor de 201.600 €/año.

#### 4.1.9. OTROS GASTOS

Se incluyen aquí diversos tipos de imprevistos durante la producción como cambios en el alcance del proyecto, conflictos laborales o problemas con las subcontratas. También abarca el tratamiento de residuos. Se estima en el 1% de las ventas y su coste anual asciende a 199.131 €/año.

## 4.2. AMORTIZACIÓN

Este parámetro se utiliza para valorar las pérdidas producidas en el inmovilizado de la planta, la maquinaria y los edificios con el objetivo de que, tras el periodo útil de los elementos, estos puedan reponerse. Se determina por depreciación lineal, atribuyen a los elementos la misma vida útil que a la planta, es decir, 15 años. Así, la amortización se determina mediante la relación del capital inmovilizado y la vida útil del mismo. Por ello, el coste anual se establece en 648.912 €.

## 4.3. COSTES DE DISTRIBUCIÓN Y VENTAS

Su valor se determina como la suma de los gastos comerciales y administrativos, así como los destinados a la investigación (Ortuño, 1991).

Se presenta el coste de cada uno de los subgrupos en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Costes de administración y ventas

Subgrupo	Factor	Coste (€/año)
1. Gastos comerciales		
2. Gastos administrativos	0,05 Coste de fabricación	850.045
3. Investigación		

## 4.4. COSTES DE PRODUCCIÓN ANUALES

Se resumen en la Tabla 4.2 los factores que conforman el coste de producción anual junto a su valor total.

Tabla 4.2. Costes de producción anuales

Subgrupo	Coste (€/año)
1. Costes de fabricación	16.261.276
2. Amortización	648.912
3. Costes de administración y ventas	842.245
Costes de producción totales	17.767.733



## 5. FINANCIACIÓN

Con el objetivo de financiar el capital total de inversión se solicita un préstamo a una entidad financiera. Por ello, los costes anuales se incrementan por motivo de la necesidad de pago de los intereses de este préstamo. Se decide llevar a cabo una repartición de la deuda en pagos anuales constantes, por lo que se determina la cuota de cada año con la ecuación (5.1) (Ortuño, 1991).

$$R = P \left[ \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right] \quad (5.1)$$

Donde R es la cuota anual (€), P el valor del préstamo (€), i la tasa de interés anual y n el número de años en los que se devuelve el préstamo.

Por motivo de la vida útil de la planta estimada en 15 años, se plantea la devolución del préstamo durante el mismo periodo de tiempo, con un interés anual del 5%.

Tabla 5.1. Pago de la inversión inicial

Año	Pago de deuda (€)	Pago de intereses (€)	Cuota R (€)	Deuda pendiente (€)
0	-	-	-	10.707.041
1	460.004	642.422	1.102.427	10.247.037
2	487.604	614.822	1.102.427	9.759.433
3	516.861	585.566	1.102.427	9.242.572
4	547.872	554.554	1.102.427	8.694.700
5	580.745	521.682	1.102.427	8.113.955
6	615.589	486.837	1.102.427	7.498.366
7	652.525	449.902	1.102.427	6.845.841
8	691.676	410.750	1.102.427	6.154.165
9	733.177	369.250	1.102.427	5.420.989
10	777.167	325.259	1.102.427	4.643.822
11	823.797	278.629	1.102.427	3.820.024
12	873.225	229.201	1.102.427	2.946.799
13	925.619	176.808	1.102.427	2.021.181
14	981.156	121.271	1.102.427	1.040.025
15	1.040.025	62.402	1.102.427	0

## 6. FLUJOS DE CAJA

Con el objetivo de analizar la rentabilidad económica de la planta, se precisa conocer los flujos de caja, entendidos como la diferencia entre los ingresos y los gastos en un periodo de tiempo concreto, establecido en esta ocasión en un año (Ortuño, 1991).

Para ello, se presentan de manera anual los resultados siguiendo el esquema de la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Esquema de los flujos de caja

Ítem
(+) Ingresos por ventas
(-) Costes de producción incluida amortización
(-) Intereses de la deuda contraída
Beneficios antes de impuestos
(-) Impuestos
Beneficio neto
(+) Amortización del inmovilizado
Flujo neto caja
Flujo de caja acumulado

Simplemente comentar en lo referido a los valores de ingresos y costes de producción que se valora la inflación, es decir, la influencia del tiempo en el valor del dinero. Para ello, se utiliza la ecuación Tabla 6.1.

$$\text{Valor futuro} = \text{Valor actual} (1 + i)^n \quad (6.1)$$

Donde  $i$  es el valor de la inflación establecido en el 2% y  $n$  es el año en el que calcula el valor del dinero futuro. Finalmente comentar unos impuestos del 30%. En las siguientes tablas se presentan los flujos de caja de cada año.

Tabla 6.2. Flujos de caja de los primeros tres años

Ítem	Año 0 (€)	Año 1 (€)	Año 2 (€)
<b>(+) Ingresos por ventas</b>	-	19.929.413	20.328.001
<b>(-) Costes de producción incluida amortización</b>	-	17.767.733	18.123.088
<b>(-) Intereses de la deuda contraída</b>	-	642.422	614.822
<b>Beneficios antes de impuestos</b>	-	1.519.258	1.590.091
<b>(-) Impuestos</b>	-	261.104	282.354
<b>Beneficio neto</b>	-	1.258.154	1.307.737
<b>(+) Amortización del inmovilizado</b>	-	648.912	648.912
<b>Flujo neto de caja</b>	-10.707.041	1.907.066	1.956.649
<b>Flujo de caja acumulado</b>	-10.707.041	-8.799.975	-6.843.326

Tabla 6.3. Flujos de caja

Ítem	Año 3 (€)	Año 4 (€)	Año 5 (€)
(+) Ingresos por ventas	20.734.561	21.149.253	21.572.238
(-) Costes de producción incluida amortización	18.485.550	18.855.261	19.232.366
(-) Intereses de la deuda contraída	585.566	554.554	521.682
Beneficios antes de impuestos	1.663.445	1.739.438	1.818.190
(-) Impuestos	304.360	327.158	350.784
Beneficio neto	1.359.085	1.412.280	1.467.406
(+) Amortización del inmovilizado	648.912	648.912	648.912
Flujo neto de caja	2.007.997	2.061.192	2.116.318
Flujo de caja acumulado	-4.835.329	-2.774.137	-657819

Tabla 6.4. Flujos de caja

Ítem	Año 6 (€)	Año 7 (€)	Año 8 (€)
(+) Ingresos por ventas	22.003.680	22.443.756	22.892.631
(-) Costes de producción incluida amortización	19.617.013	20.009.353	20.409.540
(-) Intereses de la deuda contraída	486.837	449.902	410.750
Beneficios antes de impuestos	1.899.830	1.984.501	2.072.340
(-) Impuestos	375.276	400.677	427.029
Beneficio neto	1.524.554	1.583.824	1.645.311
(+) Amortización del inmovilizado	648.912	648.912	648.912
Flujo neto de caja	2.173.466	2.232.736	2.294.223
Flujo de caja acumulado	1.515.647	3.748.383	6.042.606

Tabla 6.5. Flujos de caja

Ítem	Año 9 (€)	Año 10 (€)	Año 11 (€)
(+) Ingresos por ventas	23.350.484	23.817.493	24.293.843
(-) Costes de producción incluida amortización	20.817.732	21.234.086	21.658.768
(-) Intereses de la deuda contraída	369.250	325.259	278.629
Beneficios antes de impuestos	2.163.502	2.258.148	2.356.446
(-) Impuestos	454.377	482.771	512.260
Beneficio neto	1.709.125	1.775.377	1.844.186
(+) Amortización del inmovilizado	648.912	648.912	648.912
Flujo neto de caja	2.358.037	2.424.289	2.493.098
Flujo de caja acumulado	8.400.643	10.824.932	13.318.030

Tabla 6.6. Flujos de caja

Ítem	Año 12 (€)	Año 13 (€)	Año 14 (€)	Año 15 (€)
<b>(+) Ingresos por ventas</b>	24.779.720	25.275.318	25.780.821	26.296.438
<b>(-) Costes de producción con amortización</b>	22.091.944	22.533.782	22.984.458	23.444.147
<b>(-) Intereses de la deuda contraída</b>	229.201	176.808	121.271	62.402
<b>Beneficios antes de impuestos</b>	2.458.575	2.564.724	2.675.092	2.789.889
<b>(-) Impuestos</b>	542.899	574.744	607.854	642.293
<b>Beneficio neto</b>	1.915.676	1.989.980	2.067.238	2.147.596
<b>(+) Amortización del inmovilizado</b>	648.912	648.912	648.912	648.912
<b>Flujo neto de caja</b>	2.564.588	2.638.892	2.716.150	2.796.508
<b>Flujo de caja acumulado</b>	15.882.618	18.521.510	21.237.660	24.034.168

## 7. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL PROYECTO

Se procede a la determinación de los parámetros descritos al inicio del documento con el objetivo de conocer si la planta resulta rentable económicamente.

### 7.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Este parámetro se corresponde con el valor actualizado de los flujos de caja y se determina mediante de los valores de los mismos actualizados, incluyendo la inversión inicial.

El objetivo como indicador de la viabilidad económica es que su valor sea positivo, lo que verifica que el proyecto es viable. En caso de que adquiriera un valor elevado, presenta la información de que la rentabilidad es alta. Se determina con la expresión (7.1).

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{(1+r)^i} \quad (7.1)$$

Donde  $I_0$  representa la inversión inicial (€),  $q_i$  es el flujo de caja del año  $i$  (€),  $r$  es la tasa de actualización, considerada del 10%, y  $n$  la vida útil de la planta.

El valor obtenido del VAN para este proyecto es de 6.091.911€.

### 7.2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

En segundo lugar se determina el segundo parámetro relacionado con la viabilidad económica, la TIR, valor de la tasa de actualización que hace nulo el VAN. Se determina con la misma expresión que el parámetro anterior teniendo en cuenta que ahora la incógnita es la tasa de actualización y el valor conocido es el VAN que es nulo.

El valor obtenido para este proyecto es del 18,40%, valor superior a la tasa establecida, o que corrobora que el proyecto es económicamente viable.

### 7.3. TIEMPO DE RETORNO DE CAPITAL (PAYBACK)

El último parámetro característico para analizar la viabilidad de un proyecto es el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los flujos de caja. Este parámetro se observa visualmente, ya que se trata del año en el que el flujo de caja acumulado es positivo puesto que los flujos de caja netos de los años anteriores han superado la inversión inicial. Se representa de manera gráfica en la Figura 7.1.

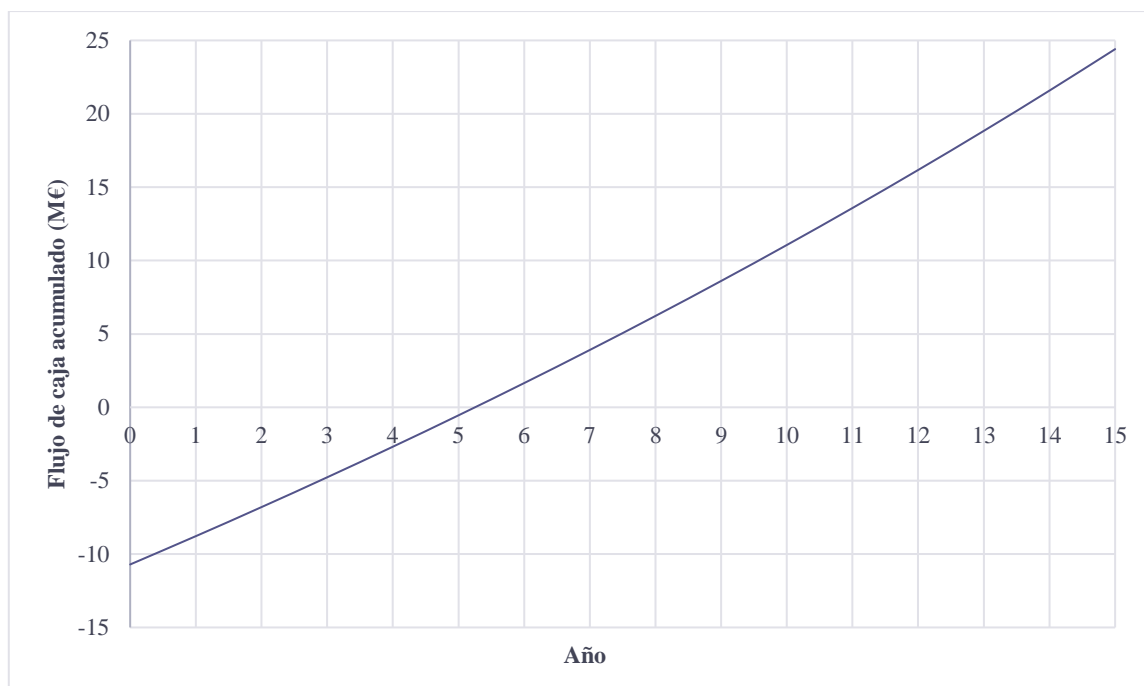


Figura 7.1. Periodo de recuperación

Es decir, el periodo de recuperación es menor de 6 años.

## 8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

### 8.1. INTRODUCCIÓN

Por motivo de la inestabilidad del mercado del petróleo se lleva a cabo un análisis de sensibilidad al precio del producto y la materia prima para verificar la rentabilidad de la planta en caso de fluctuaciones. Así, mediante la utilización de la TIR, se verifica la viabilidad económica del proyecto cuando estos precios se ven en incremento o descenso y la relevancia comparada ambos factores, observando sus efectos.

### 8.2. RESULTADOS

Se presenta de manera gráfica en la Figura 8.1 el análisis de sensibilidad.

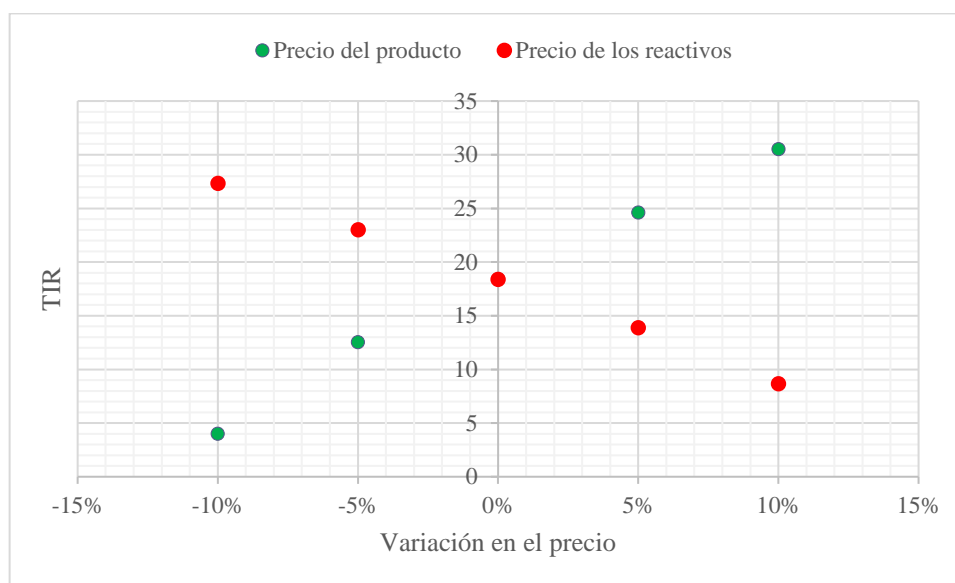


Figura 8.1. Análisis de sensibilidad de reactivos y producto

A la vista de los resultados se concluye con que pequeñas variaciones en el precio tanto de reactivos o producto no producen un descenso de la TIR por debajo de la tasa de actualización por lo que todavía sigue siendo rentable la planta. Debe presentarse una reducción en torno al 10% en el precio del producto, sin alterarse la de reactivos para que la planta no sea económicamente viable.

Pero, teniendo en cuenta que reactivos y producto son hidrocarburos ligados con el petróleo, un descenso destacado en el precio del isooctano o un aumento considerable en el coste de la fracción C<sub>4</sub> del petróleo de manera aislada es extraño. Lo habitual es un descenso general global, es decir, una reducción del coste de la materia prima pero también del producto. De igual manera para el caso de producir un incremento del precio del petróleo.

Con todo ello se verifica la viabilidad económica de la planta.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

ORTUÑO, Á. V. *El pronóstico económico en química industrial*. Madrid, España. Eudema S.A,1991.  
ISBN: 84-7754-0.82-9



---

# ANEXO IV: FICHAS DE SEGURIDAD

---

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOCTANO

Se presentan, a continuación, las fichas de seguridad de los compuestos existentes en este proyecto, tanto reactivos, como productos, subproductos, inertes y catalizador.

Estos son los presentados a continuación:

- Propano
- n-Butano
- i-Butano
- 1-Buteno
- Isooctano
- Dodecano
- Ácido sulfúrico

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 453/2010

Versión 5.3 Fecha de revisión 28.12.2015

Fecha de impresión 17.05.2017

**SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa****1.1 Identificadores del producto**

Nombre del producto : Propano

Referencia : 295655

Marca : Aldrich

No. Índice : 601-003-00-5

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

No. CAS : 74-98-6

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.  
Ronda de Poniente, 3  
Aptdo. Correos 278  
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

**1.4 Teléfono de emergencia**Teléfono de Urgencia 900-868538 (CHEMTREC España)  
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)**SECCIÓN 2: Identificación de los peligros****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Gases inflamables (Categoría 1), H220

Gases a presión (Gas licuado), H280

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

**2.2 Elementos de la etiqueta****Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro

H220

Gas extremadamente inflamable.

H280

Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia

P210

Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.

P377

Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.

P403

Almacenar en un lugar bien ventilado.

P410

Proteger de la luz del sol.

Declaración Suplementaria del Peligro ninguno(a)

## 2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

---

## SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

### 3.1 Sustancias

Formula	:	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Peso molecular	:	44,10 g/mol
No. CAS	:	74-98-6
No. CE	:	200-827-9
No. Índice	:	601-003-00-5

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

---

## SECCIÓN 4: Primeros auxilios

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

#### Si es tragado

No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

### 4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

### 4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

---

## SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

### 5.1 Medios de extinción

#### Medios de extinción apropiados

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

- 5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**  
Óxidos de carbono
- 5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**  
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.
- 5.4 Otros datos**  
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

---

## SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

- 6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**  
Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.  
Equipo de protección individual, ver sección 8.
- 6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**  
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.
- 6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**  
Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.
- 6.4 Referencia a otras secciones**  
Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

## SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

- 7.1 Precauciones para una manipulación segura**  
Evitar la inhalación de vapor o neblina.  
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas electrostáticas.  
Ver precauciones en la sección 2.2
- 7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**  
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.  
  
Contenidos bajo presión.  
Clase alemán de almacenamiento (TRGS 510): Gases
- 7.3 Usos específicos finales**  
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

---

## SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

### 8.1 Parámetros de control

#### Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componente	No. CAS	ValorForma de exposición	Parámetros de control	Base
Propane	74-98-6	VLA-ED	1.000 ppm	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional

### 8.2 Controles de la exposición

#### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

## Protección personal

### Protección de los ojos/ la cara

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

### Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

#### Sumerción

Material: Caucho fluorado

espesura minima de capa: 0,7 mm

tiempo de penetración: 480 min

Material probado: Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

#### Salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0,4 mm

tiempo de penetración: 60 min

Material probado: Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail

sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

### Protección Corporal

Indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

### Protección respiratoria

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingenieria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

### Control de exposición ambiental

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

---

## SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| a) Aspecto                | Forma: Gas licuado                        |
| b) Olor                   | Sin datos disponibles                     |
| c) Umbral olfativo        | Sin datos disponibles                     |
| d) pH                     | Sin datos disponibles                     |
| e) Punto de fusión/ punto | Punto/intervalo de fusión: -188 °C - lit. |

de congelación

- |    |   |  |
|----|---|--|
| f) | Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición | -42,1 °C - lit.  |
| g) | Punto de inflamación                                  | -103,99 °C - copa cerrada  |
| h) | Tasa de evaporación                                   | Sin datos disponibles  |
| i) | Inflamabilidad (sólido, gas)                          | Sin datos disponibles  |
| j) | Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos | Límites superior de explosividad: 9,5 %(V)<br>Límites inferior de explosividad: 2,1 %(V) |
| k) | Presión de vapor                                      | 13.096 hPa a 37,7 °C<br>8.531,6 hPa a 21,1 °C  |
| l) | Densidad de vapor                                     | 1,52 - (Aire = 1.0)  |
| m) | Densidad relativa                                     | Sin datos disponibles  |
| n) | Solubilidad en agua                                   | Sin datos disponibles  |
| o) | Coeficiente de reparto n-octanol/agua                 | Sin datos disponibles  |
| p) | Temperatura de auto-inflamación                       | Sin datos disponibles  |
| q) | Temperatura de descomposición                         | Sin datos disponibles  |
| r) | Viscosidad  | Sin datos disponibles  |
| s) | Propiedades explosivas                                | Sin datos disponibles  |
| t) | Propiedades comburentes                               | Sin datos disponibles  |

## 9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor      1,52 - (Aire = 1.0)

---

## SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

### 10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

### 10.2 Estabilidad química

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Sin datos disponibles

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

Calor, llamas y chispas.

### 10.5 Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes

### 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles  
En caso de incendio: véase sección 5

---

## SECCIÓN 11: Información toxicológica

### 11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

#### **Toxicidad aguda**

Sin datos disponibles

#### **Corrosión o irritación cutáneas**

Sin datos disponibles

#### **Lesiones o irritación ocular graves**

Sin datos disponibles

#### **Sensibilización respiratoria o cutánea**

Sin datos disponibles

#### **Mutagenicidad en células germinales**

Sin datos disponibles

#### **Carcinogenicidad**

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

#### **Toxicidad para la reproducción**

Sin datos disponibles

#### **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

Sin datos disponibles

#### **Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**

Sin datos disponibles

#### **Peligro de aspiración**

Sin datos disponibles

#### **Información Adicional**

RTECS: TX2275000

Vértigo, Somnolencia, Inconsciencia

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

---

## SECCIÓN 12: Información ecológica

### 12.1 Toxicidad

Sin datos disponibles

### 12.2 Persistencia y degradabilidad

Sin datos disponibles

### 12.3 Potencial de bioacumulación

Sin datos disponibles

### 12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

### 12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

### 12.6 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles



---

## SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

### 13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

#### Producto

Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

#### Envases contaminados

Eliminar como producto no usado.

---

## SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

### 14.1 Número ONU

ADR/RID: 1978

IMDG: 1978

IATA: 1978

### 14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: PROPANO

IMDG: PROPANE

IATA: Propane

Passenger Aircraft: Not permitted for transport

### 14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 2.1

IMDG: 2.1

IATA: 2.1

### 14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

### 14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no

IMDG Marine pollutant: no

IATA: no

### 14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

---

## SECCIÓN 15: Información reglamentaria

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 453/2010.

### 15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Sin datos disponibles

### 15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

---

## SECCIÓN 16: Otra información

### Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H220 Gas extremadamente inflamable.

H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

### Otros datos

Copyright 2015 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la

manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

---

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 6.2 Fecha de revisión 24.05.2016

Fecha de impresión 17.05.2017

**SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa****1.1 Identificadores del producto**

Nombre del producto : Butano

Referencia : 494402

Marca : Aldrich

No. Índice : 601-004-00-0

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

No. CAS : 106-97-8

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.  
Ronda de Poniente, 3  
Aptdo. Correos 278  
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

**1.4 Teléfono de emergencia**Teléfono de Urgencia 900-868538 (CHEMTREC España)  
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)**SECCIÓN 2. Identificación de los peligros****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Gases inflamables (Categoría 1), H220

Gases a presión (Gas licuado), H280

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

**2.2 Elementos de la etiqueta****Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Pictograma



Palabra de advertencia Peligro


Indicación(es) de peligro

H220

Gas extremadamente inflamable.

H280

Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia	
P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P377	Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P403	Almacenar en un lugar bien ventilado.
P410	Proteger de la luz del sol.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)
Pictograma	
Palabra de advertencia	Peligro
Indicación(es) de peligro	
H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
Declaración(es) de prudencia	
P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P377	Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P403	Almacenar en un lugar bien ventilado.
P410	Proteger de la luz del sol.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

## 2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

---

## SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

### 3.1 Sustancias

Formula	: C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Peso molecular	: 58,12 g/mol
No. CAS	: 106-97-8
No. CE	: 203-448-7
No. Indice	: 601-004-00-0

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

---

## SECCIÓN 4. Primeros auxilios

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Lavar abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

#### **Por ingestión**

No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

#### **4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

#### **4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**

Sin datos disponibles

---

### **SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios**

#### **5.1 Medios de extinción**

##### **Medios de extinción apropiados**

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

#### **5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Sin datos disponibles

#### **5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

#### **5.4 Otros datos**

El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

---

### **SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental**

#### **6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

#### **6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

#### **6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.

#### **6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

### **SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento**

#### **7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evitar la inhalación de vapor o neblina.

Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas electrostáticas.

Ver precauciones en la sección 2.2

#### **7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Contenidos bajo presión.

Clase de almacenamiento (TRGS 510): Gases

#### **7.3 Usos específicos finales**

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

## SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

### 8.1 Parámetros de control

#### Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componente	No. CAS	ValorForma de exposición	Parámetros de control	Base
Butane	106-97-8	VLA-ED (gas)	1.000 ppm	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional

### 8.2 Controles de la exposición

#### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### Protección personal

##### Protección de los ojos/ la cara

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

##### Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

##### Sumerción

Material: Caucho fluorado

espesura minima de capa: 0,7 mm

tiempo de penetración: 480 min

Material probado: Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

##### Salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0,4 mm

tiempo de penetración: 60 min

Material probado: Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail

sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

##### Protección Corporal

Indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

##### Protección respiratoria

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingeniería. Si

el respirador es la única protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

#### **Control de exposición ambiental**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

---

### **SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas**

#### **9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

a) Aspecto	Forma: gaseoso
b) Olor	inodoro
c) Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d) pH	Sin datos disponibles
e) Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -138 °C - lit.
f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	-0,5 °C - lit.
g) Punto de inflamación	Sin datos disponibles
h) Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límite superior de explosividad: 8,4 %(V) Límites inferior de explosividad: 1,8 %(V)
k) Presión de vapor	2.426 hPa a 25 °C 3.556,67 hPa a 37,7 °C
l) Densidad de vapor	2,33
m) Densidad relativa	Sin datos disponibles
n) Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 2,89
p) Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q) Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r) Viscosidad	Sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

#### **9.2 Otra información de seguridad**

Densidad relativa del vapor	2,33
-----------------------------	------

---

### **SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad**

#### **10.1 Reactividad**

Sin datos disponibles

## **10.2 Estabilidad química**

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

## **10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas**

Sin datos disponibles

## **10.4 Condiciones que deben evitarse**

Calor, llamas y chispas.

## **10.5 Materiales incompatibles**

Sin datos disponibles

## **10.6 Productos de descomposición peligrosos**

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono

Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles

En caso de incendio: véase sección 5

---

# **SECCIÓN 11. Información toxicológica**

## **11.1 Información sobre los efectos toxicológicos**

### **Toxicidad aguda**

Sin datos disponibles

CL50 Inhalación - Rata - 4 h - 658.000 mg/m<sup>3</sup>

### **Corrosión o irritación cutáneas**

Sin datos disponibles

### **Lesiones o irritación ocular graves**

Sin datos disponibles

### **Sensibilización respiratoria o cutánea**

Sin datos disponibles

### **Mutagenicidad en células germinales**

Sin datos disponibles

### **Carcinogenicidad**

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

### **Toxicidad para la reproducción**

Sin datos disponibles

### **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

Sin datos disponibles

### **Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**

Sin datos disponibles

### **Peligro de aspiración**

Sin datos disponibles

### **Información Adicional**

RTECS: EJ4200000

Depresión del sistema nervioso central, lentitud, Insuficiencia respiratoria, narcosis, El contacto dérmico con el líquido en evaporación rápida puede provocar la congelación de los tejidos, La exposición puede provocar entumecimiento, sensación de hormigueo y debilidad en las extremidades., Cianosis, Edema pulmonar. Los efectos pueden no ser inmediatos., Dolor abdominal, Náusea, Vómitos

---

# **SECCIÓN 12. Información ecológica**

## **12.1 Toxicidad**

Sin datos disponibles



**12.2 Persistencia y degradabilidad**

Sin datos disponibles

**12.3 Potencial de bioacumulación**

Sin datos disponibles

**12.4 Movilidad en el suelo**

Sin datos disponibles

**12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

**12.6 Otros efectos adversos**

Sin datos disponibles

---

**SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación****13.1 Métodos para el tratamiento de residuos****Producto**

Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

---

**SECCIÓN 14. Información relativa al transporte****14.1 Número ONU**

ADR/RID: 1011

IMDG: 1011

IATA: 1011

**14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**

ADR/RID: BUTANO

IMDG: BUTANE

IATA: Butane

Passenger Aircraft: Not permitted for transport

**14.3 Clase(s) de peligro para el transporte**

ADR/RID: 2.1

IMDG: 2.1

IATA: 2.1

**14.4 Grupo de embalaje**

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

**14.5 Peligros para el medio ambiente**

ADR/RID: no

IMDG Marine pollutant: no

IATA: no

**14.6 Precauciones particulares para los usuarios**

Sin datos disponibles

---

**SECCIÓN 15. Información reglamentaria****15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

**Autorizaciones y / o restricciones de uso**

REACH - Restricciones a la fabricación, : Butane  
comercialización y uso de determinadas sustancias,  
preparados y artículos peligrosos (Anexo XVII)

**15.2 Evaluación de la seguridad química**

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

---

## SECCIÓN 16. Otra información

### Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

### Otros datos

Copyright 2016 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

---

## Ficha de datos de seguridad Isobutano

Fecha de elaboración 28.01.2005

Versión : 1.0

ES / S

Nº FDS : 075

:  
Fecha de revisión : 12.05.2011

Página 1 / 3

### 1 IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O DEL PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA

#### Nombre del producto

Isobutano

#### Nombre comercial

Isobutano

Isobutano 2.5

Número CEE (EINECS): 200-857-2

Número CAS: 75-28-5

Índice Nº 601-004-00-0

Fórmula química C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>

Nº de Registro de REACH:

No disponible.

#### Utilizaciones conocidas

Desconocido

#### Identificación de la Compañía

Abelló Linde, S. A., Calle Bailén 105, 08009 Barcelona, España

Números de teléfono de emergencia: +34 93 4 76 74 00

### 2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

#### Clasificación de la sustancia o mezcla

#### Clasificación CE de acuerdo con 1272/2008/CE (CLP)

Gas a presión (Gas licuado) - Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Gas infl. 1 - Gas extremadamente inflamable.

#### Clasificado de acuerdo a las Directivas Europeas 67/548/CE y 1999/45/CE.

F+; R12

Extremadamente inflamable.

#### Advertencia para el hombre y para el ambiente

Gas licuado

El contacto con el líquido puede causar quemaduras por frío o congelación.

#### Elementos de la Etiqueta

#### - Pictogramas del etiquetado



#### - Palabra de advertencia

Peligro

#### - Indicación de peligro

H280

Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

H220

Gas extremadamente inflamable.

#### - Consejos de prudencia

#### Consejos de prudencia - Prevención

P210

Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes - No fumar.

#### Consejos de prudencia - Respuesta

P377

Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin

P381

peligro.

Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo.

#### Consejos de prudencia - Almacenamiento

P403

Almacenar en un lugar bien ventilado.

#### Consejos de prudencia - Eliminación

Ninguno

### 3 COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN DE LOS INGREDIENTES

Sustancia o mezcla: Sustancia

#### Impurezas y componentes

Isobutano

Número CAS: 75-28-5

Índice Nº: 601-004-00-0

Número CEE (EINECS): 200-857-2

Nº de Registro de REACH:

No disponible.

No contiene otros componentes o impurezas que puedan influir en la clasificación del producto.

### 4 PRIMEROS AUXILIOS

#### Inhalación

A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima no siente la asfixia. A bajas concentraciones puede tener efectos narcotizantes. Los síntomas pueden incluir vértigos, dolor de cabeza, náuseas y pérdida de coordinación. Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar la respiración artificial si se para la respiración.

#### Contacto con la piel y con los ojos

En casos de salpicaduras de líquido. Lavar con agua durante no menos de 15 minutos. Obtener asistencia médica.

#### Ingestión

La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.

### 5 MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

#### Riesgos específicos

La exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes.

#### Productos peligrosos de la combustión

La combustión incompleta puede formar monóxido de carbono.

Dióxido de carbono.

#### Medios de extinción adecuados

Se pueden utilizar todos los extintores conocidos.

#### Métodos específicos

Si es posible detener la fuga de producto. Sacar los contenedores al exterior o enfriar con agua desde un lugar protegido. No extinguir una fuga de gas inflamada si no es absolutamente necesario. Se puede producir la reignición espontánea explosiva. Extinguir los otros fuegos. Evite que el agua utilizada en caso de emergencia entre en alcantarillas y sistemas de drenaje.

#### Equipo de protección especial para la actuación en incendios

En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva. La ropa de protección contra incendios (incluyendo casco, botas y guantes) conforme EN 469 debe proporcionar un nivel básico de protección frente a incidentes químicos. EN

## Ficha de datos de seguridad Isobutano

Fecha de elaboración 28.01.2005

Versión : 1.0

ES / S

N° FDS : 075

Fecha de revisión : 12.05.2011

Página 2 / 3

469:2005: Ropa de protección contra incendios. Requisitos de funcionamiento para la ropa de protección contra incendios.

### 6 MEDIDAS EN CASO DE ESCAPES / DERRAMES ACCIDENTALES

#### Precauciones personales

Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura. Evacuar el área. Asegurar la adecuada ventilación de aire. Eliminar las fuentes de ignición. Considere el riesgo de atmósfera potencialmente explosiva. Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o en cualquier otro lugar donde su acumulación pueda ser peligrosa.

#### Precauciones para la protección del medio ambiente

Intentar parar el escape/derrame.

#### Métodos de limpieza

Ventilar el área. Mantener el área evacuada y libre de fuentes de ignición hasta que el líquido derramado se haya evaporado. El suelo deberá estar libre de heladas.

### 7 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

#### Manipulación

Los gases a presión únicamente deben ser manipulados por personas con experiencia y adecuadamente formadas. La sustancia debe ser manipulada de acuerdo a procedimientos de correcta higiene industrial y seguridad. Utilizar sólo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro, en caso de duda contacte con su suministrador. Tomar medidas de protección contra las descargas electrostáticas. Asegúrese que el equipo esté adecuadamente conectado a tierra. Purgar el aire del sistema antes de introducir el gas. Mantener lejos de fuentes de ignición, incluyendo descarga estática. No fumar durante el trabajo con el producto. Evaluar el riesgo de atmósferas potencialmente explosivas y la necesidad de disponer de equipos a prueba de explosiones. Use herramientas anti-chispas. Asegúrese que el sistema de gas ha sido (o es regularmente) comprobado antes de su uso para detectar que no haya fugas. Consulte las instrucciones de manejo del proveedor. Debe prevenirse la filtración de agua al interior del recipiente. No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente. Proteja los recipientes de daños físicos; no arrastrar, deslizar, rodar o tirar. Cuando mueva los recipientes, incluso en distancias cortas, use un carro diseñado para el transporte de este tipo de recipientes. No retire las protecciones de las válvulas y en caso de necesidad nunca antes que el recipiente esté situado en su ubicación definitiva y asegurado en una pared o banco de trabajo adecuado. Si el usuario tiene alguna dificultad en operar la válvula del recipiente, paralizar su uso y contactar con el proveedor. Nunca debe intentar reparar o modificar las válvulas o equipos de seguridad de los recipientes. Recipientes con válvulas dañadas deben ser devueltos inmediatamente al proveedor. Mantenga todas las válvulas limpias y libres de aceites, petróleo o agua. Vuelva a colocar todas las protecciones de las válvulas tan pronto como el recipiente haya sido desconectado de su equipo. Cierre la válvula del recipiente después de su uso, incluso cuando esté vacío o esté conectado a un equipo. Nunca intente traspasar gases de un recipiente a otro. Nunca use una llama directa o equipos eléctricos para aumentar la presión del recipiente. No quite las etiquetas suministradas por el proveedor como identificación del contenido del recipiente.

#### Almacenamiento

Asegurar las botellas para evitar su caída. Separar de los gases oxidantes o de otros materiales oxidantes durante el

almacenamiento. Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado. Cumpla con todos los reglamentos y requisitos legales locales sobre el almacenamiento de los recipientes. Los recipientes deben ser almacenados en posición vertical y bien asegurados para evitar su caída. Los recipientes deben ser revisados periódicamente para garantizar unas correctas condiciones de uso y la inexistencia de fugas. Las protecciones de las válvulas deben estar en su lugar. Almacene los recipientes en lugares libres de riesgo de incendio y lejos de fuentes de calor e ignición. Mantener alejado de materiales combustibles. Todo los equipos eléctricos en las áreas de almacenamiento debe ser compatible con el riesgo de atmósferas potencialmente explosivas. Los envases no deben ser almacenados en condiciones que puedan favorecer la corrosión del recipiente.

### 8 CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

#### Valor límite de exposición

Tipo de valor	Valor	Nota
VLA-ED	1.000 ppm	INSHT 2010
TLV (ACGIH)	800 ppm	

#### Protección respiratoria

Disponer de aparato de respiración autónomo para uso en caso de emergencia.

#### Protección de las manos

##### Aviso

Usar guantes de protección contra el frío.

##### Directriz.

EN 511 Guantes de protección contra el frío.

#### Protección del cuerpo

Disponer de traje antiácido resistente al producto para usar en caso de emergencia.

#### Protección personal

Asegurar una ventilación adecuada. No fumar durante el trabajo con el producto. Para la manipulación y/o trabajo con botellas de gases usar ropa protectora (indumentaria) adecuada.

### 9 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

#### Información general

**Apariencia:** Gas incoloro

**Olor:** Algo dulce Sin olor a pequeñas concentraciones Hedor fuerte adicional.

#### Información importante para la Seguridad de la Salud y del Medio Ambiente

**Peso molecular:** 58 g/mol

**Temperatura de fusión:** -159 °C

**Temperatura de ebullición:** -12 °C

**Temperatura crítica:** 135 °C

**Punto de ignición:** No aplicable para gases o mezclas de gases.

**Temperatura de auto ignición:** 460 °C

**Límite de inflamabilidad (% de volumen en aire):** 1,5 %(v) - 9,4 %(v)

**Densidad relativa del gas (aire=1):** 2

**Densidad relativa del líquido (agua=1):** 0,59

**Presión de vapor a 20 °C:** 3 bar

**Solubilidad en agua:** 54 mg/l

#### Otros datos

El vapor es más pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente al nivel del suelo o en sótanos.

### 10 REACTIVIDAD Y ESTABILIDAD

#### Estabilidad y reactividad

## Ficha de datos de seguridad Isobutano

Fecha de elaboración 28.01.2005

Versión : 1.0

ES / S

N° FDS : 075

:

Fecha de revisión : 12.05.2011

Página 3 / 3

Puede formar mezclas explosivas con el aire. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes.

### Productos de la descomposición

#### Afirmaciones sobre la descomposición.

Bajo condiciones normales de uso y almacenamiento, no debe producirse descomposición en productos peligrosos. Si está involucrado en un fuego, los siguientes humos corrosivos y/o tóxicos pueden producirse por descomposición térmica:

## 11 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### Toxicidad aguda

No se conocen los efectos toxicológicos de este producto.

## 12 INFORMACIONES ECOLÓGICAS

### General

No se conocen daños ecológicos causados por este producto.

## 13 CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

### General

No descargar en áreas donde hay riesgo de que se forme una mezcla explosiva con el aire. El gas residual debe ser quemado a través de un quemador adecuado que disponga de antiretroceso de llama. No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa. Contactar con el suministrador si se necesita orientación.

Número de identificación de residuo 16 05 04\*

## 14 INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

### ADR/RID

Clase	2	Código de clasificación	2F
-------	---	-------------------------	----

### Número de clasificación y especificación

UN 1969 Isobutano			
UN 1969 Isobutane			
Etiquetas	2.1	Riesgo N°	23

### IMDG

Clase	2.1
<b>Número de clasificación y especificación</b>	
UN 1969 Isobutane	
Etiquetas	2.1
Instrucción de embalaje	P200
EmS	FD,SU

### IATA

Clase	2.1
<b>Número de clasificación y especificación</b>	
UN 1969 Isobutane	
Etiquetas	2.1
Instrucción de embalaje	P200

### Otras informaciones para el transporte

Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor. Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce qué debe hacer en caso de un accidente o emergencia. Antes de transportar las botellas sujetarlas adecuadamente. Asegurarse que las válvulas de las botellas están cerradas y no fugan. Asegurarse que el tapón del acoplamiento de la válvula (cuando exista) está adecuadamente apretado. Asegurarse que la caperuza de la válvula o la tulipa, (cuando exista), está

adecuadamente apretada. Asegurar una ventilación adecuada. Asegurarse de cumplir con la legislación aplicable.

## 15 INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

## 16 OTRAS INFORMACIONES

Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales. Asegurarse que los operarios conocen el riesgo de inflamabilidad. El contacto con el líquido puede causar quemaduras por frío o congelación. El riesgo de asfixia es a menudo despreciado y debe ser recalcado durante la formación de los operarios. Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales.

### Aviso

A pesar de que durante la preparación de este documento se ha tomado especial cuidado, no se acepta ninguna responsabilidad por las lesiones o los daños. Los detalles dados son ciertos y correctos en el momento de llevarse este documento a impresión.

### Fin del documento

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 5.0 Fecha de revisión 05.12.2012

Fecha de impresión 03.07.2017

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA****1.1 Identificadores del producto**

Nombre del producto : 1-Butene

Referencia : 295051

Marca : Aldrich

No. Índice : 601-012-00-4

No. CAS : 106-98-9

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.  
Ronda de Poniente, 3  
Aptdo. Correos 278  
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

**1.4 Teléfono de emergencia**Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)  
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]**

Gases inflamables (Categoría 1)

Gases a presión (Gas licuado)

**Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE**

Extremadamente inflamable.

**2.2 Elementos de la etiqueta****Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]**

Pictograma



Palabra de advertencia : Peligro

Indicación(es) de peligro

H220

Gas extremadamente inflamable.

H280

Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia

P210

Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. - No fumar.

P410 + P403

Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.

Declaración Suplementaria del Peligro : ninguno(a)

De acuerdo con la Directiva Europea 67/548/CEE, y sus enmiendas.

Símbolo(s) de peligrosidad



Frase(s) - R

R12

Extremadamente inflamable.

Frase(s) - S

S 9

Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado.

S16

Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.

S33

Evítese la acumulación de cargas electroestáticas.

## 2.3 Otros Peligros - ninguno(a)

---

## 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

### 3.1 Sustancias

Formula :  $C_4H_8$

Peso molecular : 56,11 g/mol

---

## 4. PRIMEROS AUXILIOS

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Lavar abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

#### Si es tragado

No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

### 4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Vértigo, Dolor de cabeza, Depresión del sistema nervioso central

### 4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

sin datos disponibles

---

## 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

### 5.1 Medios de extinción

#### Medios de extinción apropiados

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

### 5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Óxidos de carbono

### 5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

### 5.4 Otros datos

El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

---

## **6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**

### **6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.

### **6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

### **6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.

### **6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

## **7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

### **7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evitar la inhalación de vapor o neblina.

Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas electrostáticas.

### **7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Contenidos bajo presión.

### **7.3 Usos específicos finales**

sin datos disponibles

---

## **8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL**

### **8.1 Parámetros de control**

#### **Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.**

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

### **8.2 Controles de la exposición**

#### **Controles técnicos apropiados**

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### **Protección personal**

##### **Protección de los ojos/ la cara**

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

##### **Protección de la piel**

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

##### **Protección Corporal**

indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.



### Protección respiratoria

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinación multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesta para controles de ingeniería. Si el respirador es la única protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

---

## 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a) Aspecto	Forma: gaseoso
b) Olor	sin datos disponibles
c) Umbral olfativo	sin datos disponibles
d) pH	sin datos disponibles
e) Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -185 °C - lit.
f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	-6,3 °C - lit.
g) Punto de inflamación	-80 °C - copa cerrada
h) Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límites superior de explosividad: 9,3 %(V) Límites inferior de explosividad: 1,6 %(V)
k) Presión de vapor	4.346 hPa a 37,7 °C 2.585 hPa a 21,1 °C
l) Densidad de vapor	1,94 - (Aire = 1.0)
m) Densidad relativa	0,595 g/cm <sup>3</sup>
n) Solubilidad en agua	sin datos disponibles
o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	sin datos disponibles
p) Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q) Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r) Viscosidad	sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	sin datos disponibles

### 9.2 Otra información de seguridad

sin datos disponibles

---

## 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

### 10.1 Reactividad

sin datos disponibles

### 10.2 Estabilidad química

sin datos disponibles

- 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas**  
sin datos disponibles
- 10.4 Condiciones que deben evitarse**  
Calor, llamas y chispas. Temperaturas extremas y luz directa del sol.
- 10.5 Materiales incompatibles**  
Agentes oxidantes fuertes, Ácidos fuertes
- 10.6 Productos de descomposición peligrosos**  
Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

---

## **11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

### **11.1 Información sobre los efectos toxicológicos**

**Toxicidad aguda**  
sin datos disponibles

**Corrosión o irritación cutáneas**  
sin datos disponibles

**Lesiones o irritación ocular graves**  
sin datos disponibles

**Sensibilización respiratoria o cutánea**  
sin datos disponibles

**Mutagenicidad en células germinales**  
sin datos disponibles

#### **Carcinogenicidad**

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

**Toxicidad para la reproducción**  
sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**  
sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**  
sin datos disponibles

**Peligro de aspiración**  
sin datos disponibles

#### **Efectos potenciales sobre la salud**

<b>Inhalación</b>	Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.
<b>Ingestión</b>	Puede ser nocivo en caso de ingestión.
<b>Piel</b>	Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.
<b>Ojos</b>	Puede provocar una irritación en los ojos.

#### **Signos y Síntomas de la Exposición**

Vértigo, Dolor de cabeza, Depresión del sistema nervioso central

#### **Información Adicional**

RTECS: sin datos disponibles

---

## **12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

**12.1 Toxicidad**  
sin datos disponibles

**12.2 Persistencia y degradabilidad**  
sin datos disponibles

**12.3 Potencial de bioacumulación**

sin datos disponibles

**12.4 Movilidad en el suelo**

sin datos disponibles

**12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**

sin datos disponibles

**12.6 Otros efectos adversos**

sin datos disponibles

---

**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN****13.1 Métodos para el tratamiento de residuos****Producto**

Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

---

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE****14.1 Número ONU**

ADR/RID: 1012

IMDG: 1012

IATA: 1012

**14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**

ADR/RID: 1-BUTILENO

IMDG: BUTYLENE

IATA: Butylene

Passenger Aircraft: Not permitted for transport

**14.3 Clase(s) de peligro para el transporte**

ADR/RID: 2.1

IMDG: 2.1

IATA: 2.1

**14.4 Grupo embalaje**

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

**14.5 Peligros para el medio ambiente**

ADR/RID: no

IMDG Marine Pollutant: no

IATA: no

**14.6 Precauciones particulares para los usuarios**

sin datos disponibles

---

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

**15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**

sin datos disponibles

**15.2 Evaluación de la seguridad química**

sin datos disponibles

---

**16. OTRA INFORMACIÓN****Otros datos**

Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la

manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

---

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 5.0 Fecha de revisión 07.03.2016

Fecha de impresión 03.07.2017

**SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa****1.1 Identificadores del producto**

Nombre del producto : Isooctane

Referencia : PHR1915

Marca : Sigma-Aldrich

No. Índice : 601-009-00-8

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

No. CAS : 540-84-1

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.  
Ronda de Poniente, 3  
Apto. Correos 278  
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

**1.4 Teléfono de emergencia**Teléfono de Urgencia 900-868538 (CHEMTREC España)  
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)**SECCIÓN 2. Identificación de los peligros****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Líquidos inflamables (Categoría 2), H225

Iritación cutáneas (Categoría 2), H315

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3), Sistema nervioso central, H336

Peligro de aspiración (Categoría 1), H304

Toxicidad acuática aguda (Categoría 1), H400

Toxicidad acuática crónica (Categoría 1), H410

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

**2.2 Elementos de la etiqueta****Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Pictograma



Palabra de advertencia

Peligro

Indicación(es) de peligro	
H225	Líquido y vapores muy inflamables.
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.
H315	Provoca irritación cutánea.
H336	Puede provocar somnolencia o vértigo.
H410	Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
Declaración(es) de prudencia	
P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P301 + P310	EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.
P331	NO provocar el vómito.
P370 + P378	En caso de incendio: Utilizar polvo seco o arena seca para la extinción.
P403 + P235	Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener en lugar fresco.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

### 2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

## SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

### 3.1 Sustancias

Peso molecular	:	114,23 g/mol
No. CAS	:	540-84-1
No. CE	:	208-759-1
No. Índice	:	601-009-00-8

#### Ingredientes peligrosos de acuerdo con el Reglamento (CE) N° 1272/2008

Componente	Clasificación	Concentración
<b>2,2,4-Trimethylpentane</b>		
No. CAS	540-84-1	<= 100 %
No. CE	208-759-1	
No. Índice	601-009-00-8	
	Flam. Liq. 2; Skin Irrit. 2; STOT SE 3; Asp. Tox. 1; Aquatic Acute 1; Aquatic Chronic 1; H225, H315, H336, H304, H400, H410 Factor-M - Aquatic Acute: 10	

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

## SECCIÓN 4. Primeros auxilios

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Lavar abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

#### **Por ingestión**

No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

#### **4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

#### **4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**

Sin datos disponibles

---

### **SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios**

#### **5.1 Medios de extinción**

##### **Medios de extinción apropiados**

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

#### **5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Sin datos disponibles

#### **5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

#### **5.4 Otros datos**

El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

---

### **SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental**

#### **6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

#### **6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

#### **6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Contener y recoger el derrame con un aspirador aislado de la electricidad o cepillándolo, y meterlo en un envase para su eliminación de acuerdo con las reglamentaciones locales (ver sección 13).

#### **6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

### **SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento**

#### **7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina.

Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas electrostáticas.

Ver precauciones en la sección 2.2

#### **7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

Almacene a temperatura ambiente.

#### **7.3 Usos específicos finales**

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

---

## SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

### 8.1 Parámetros de control

**Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.**

Componente	No. CAS	ValorForma de exposición	Parámetros de control	Base
2,2,4-Trimethylpentane	540-84-1	VLA-ED	300 ppm 1.420 mg/m3	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional

### 8.2 Controles de la exposición

#### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### Protección personal

##### Protección de los ojos/ la cara

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

##### Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

##### Protección Corporal

Traje de protección completo contra productos químicos, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

##### Protección respiratoria

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinación multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingeniería. Si el respirador es la única protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

##### Control de exposición ambiental

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

---

## SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| a) Aspecto                               | Forma: líquido        |
| b) Olor                                  | Sin datos disponibles |
| c) Umbral olfativo                       | Sin datos disponibles |
| d) pH                                    | Sin datos disponibles |
| e) Punto de fusión/ punto de congelación | -107 °C               |



f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	98 - 99 °C a 1.013 hPa
g)	Punto de inflamación	-12 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límite superior de explosividad: 6 %(V) Límites inferior de explosividad: 1 %(V)
k)	Presión de vapor	55 hPa a 21 °C 117 hPa a 37,80 °C
l)	Densidad de vapor	3,94 - (Aire = 1.0)
m)	Densidad relativa	0,690 g/cm <sup>3</sup>
n)	Solubilidad en agua	insoluble
o)	Coefficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 4,6
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

## 9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	3,94 - (Aire = 1.0)
-----------------------------	---------------------

---

## SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

### 10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

### 10.2 Estabilidad química

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Sin datos disponibles

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

Calor, llamas y chispas.

### 10.5 Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes

### 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono  
En caso de incendio: véase sección 5

---

## SECCIÓN 11. Información toxicológica

### 11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

#### Toxicidad aguda

DL50 Oral - Rata - > 5.000 mg/kg  
(Directrices de ensayo 401 del OECD)

CL50 Inhalación - Rata - 4 h - > 33,52 mg/l  
(Directrices de ensayo 403 del OECD)

DL50 Cutáneo - Conejo - > 2.000 mg/kg  
(Directrices de ensayo 402 del OECD)

#### Corrosión o irritación cutáneas

Piel - Conejo  
Resultado: Irrita la piel.  
(Directrices de ensayo 404 del OECD)

#### Lesiones o irritación ocular graves

Ojos - Conejo  
Resultado: No irrita los ojos  
(Directrices de ensayo 405 del OECD)

#### Sensibilización respiratoria o cutánea

Sin datos disponibles

#### Mutagenicidad en células germinales

Rata  
síntesis no prevista de ADN

#### Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

#### Toxicidad para la reproducción

Sin datos disponibles

#### Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Puede provocar somnolencia o vértigo.

#### Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Sin datos disponibles

#### Peligro de aspiración

La sustancia o mezcla se sabe que causa peligro de toxicidad por aspiración para el ser humano o ha de ser considerada como si causara riesgo de toxicidad por aspiración al ser humano.

#### Información Adicional

RTECS: sin datos disponibles

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

Hígado - Irregularidades - Con base en la evidencia humana

---

## SECCIÓN 12. Información ecológica

### 12.1 Toxicidad

Sin datos disponibles

### 12.2 Persistencia y degradabilidad

Sin datos disponibles

### 12.3 Potencial de bioacumulación

### 12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

### 12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

### 12.6 Otros efectos adversos

Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

---

## SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

### 13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

#### Producto

Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

#### Envases contaminados

Eliminar como producto no usado.

---

## SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

### 14.1 Número ONU

ADR/RID: 1262

IMDG: 1262

IATA: 1262

### 14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: OCTANOS

IMDG: OCTANES

IATA: Octanes

### 14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 3

IMDG: 3

IATA: 3

### 14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: II

IMDG: II

IATA: II

### 14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: si

IMDG Marine pollutant: yes

IATA: no

### 14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

---

## SECCIÓN 15. Información reglamentaria

### 15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

### 15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

---

## SECCIÓN 16. Otra información

### Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H225

Líquido y vapores muy inflamables.

H304

Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

H315

Provoca irritación cutánea.

H336

Puede provocar somnolencia o vértigo.

H400

Muy tóxico para los organismos acuáticos.

**Otros datos**

Copyright 2016 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

---

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 5.3 Fecha de revisión 28.01.2015

Fecha de impresión 03.07.2017

### SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

#### 1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : Dodecano

Referencia : 297879

Marca : Sigma-Aldrich

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

No. CAS : 112-40-3

#### 1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

#### 1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.  
Ronda de Poniente, 3  
Apto. Correos 278  
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

#### 1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)  
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

### SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

#### 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

##### Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

Peligro de aspiración (Categoría 1), H304

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

##### Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE

Xn Nocivo R65

El texto completo de las frases R mencionadas en esta Sección, se indica en la Sección 16.

#### 2.2 Elementos de la etiqueta

##### Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro  
H304

Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

Declaración(es) de prudencia  
P301 + P310

EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE

P331 TOXICOLOGÍA o a un médico.  
NO provocar el vómito.

Declaración Suplementaria del ninguno(a)  
Peligro

## 2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

## SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

### 3.1 Sustancias

Formula : C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>  
Peso molecular : 170,33 g/mol  
No. CAS : 112-40-3  
No. CE : 203-967-9

#### Ingredientes peligrosos de acuerdo con el Reglamento (CE) N° 1272/2008

Componente		Clasificación	Concentración
<b>Dodecane</b>			
No. CAS	112-40-3	Asp. Tox. 1; H304	<= 100 %
No. CE	203-967-9		

#### Ingrediente peligroso según la Directiva 1999/45/CE

Componente		Clasificación	Concentración
<b>Dodecane</b>			
No. CAS	112-40-3	Xn, R65	<= 100 %
No. CE	203-967-9		

Para el texto completo de las frases de Riesgo y Seguridad mencionadas en esta Sección, ver la Sección 16

## SECCIÓN 4: Primeros auxilios

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

#### Si es tragado

No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

### 4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

### 4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

---

## **SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios**

### **5.1 Medios de extinción**

#### **Medios de extinción apropiados**

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

### **5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Óxidos de carbono

### **5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

### **5.4 Otros datos**

El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

---

## **SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental**

### **6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

### **6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

### **6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Contener y recoger el derrame con un aspirador aislado de la electricidad o cepillándolo, y meterlo en un envase para su eliminación de acuerdo con las reglamentaciones locales (ver sección 13). Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

### **6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

## **SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento**

### **7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina.

Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas electrostáticas.

Ver precauciones en la sección 2.2

### **7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

Manipular y almacenar en atmósfera inerte, higroscópico

Clase alemán de almacenamiento (TRGS 510): Combustibles líquidos

### **7.3 Usos específicos finales**

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

---

## **SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual**

### **8.1 Parámetros de control**

#### **Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.**

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

## 8.2 Controles de la exposición

### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

### Protección personal

#### Protección de los ojos/ la cara

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

#### Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

#### Sumerción

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0,4 mm

tiempo de penetración: 480 min

Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

#### Salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0,2 mm

tiempo de penetración: 30 min

Material probado:Dermatril® P (KCL 743 / Aldrich Z677388, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

### Protección Corporal

Traje de protección completo contra productos químicos, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

### Protección respiratoria

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingenieneria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

### Control de exposición ambiental

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

---

## SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- |            |                       |
|------------|-----------------------|
| a) Aspecto | Forma: líquido, claro |
|            | Color: incoloro       |



b)	Olor	Sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -9,6 °C
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	215 - 217 °C
g)	Punto de inflamación	71 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límites inferior de explosividad: 0,6 %(V)
k)	Presión de vapor	1 hPa a 47,80 °C
l)	Densidad de vapor	5,88 - (Aire = 1.0)
m)	Densidad relativa	Sin datos disponibles
n)	Solubilidad en agua	insoluble
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 6,98 a 25 °C
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

## 9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	5,88 - (Aire = 1.0)
-----------------------------	---------------------

---

## SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

### 10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

### 10.2 Estabilidad química

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Sin datos disponibles

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

Su exposición a la humedad puede afectar a la calidad del producto.  
Calor, llamas y chispas.

### 10.5 Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes

## 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles

En caso de incendio: véase sección 5

---

## SECCIÓN 11: Información toxicológica

### 11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

#### Toxicidad aguda

CL50 Oral - Rata - > 5.000 mg/kg

(Directrices de ensayo 401 del OECD)

CL50 Inhalación - Rata - 4 h - > 9,3 mg/l

(Directrices de ensayo 403 del OECD)

CL50 Inhalación - Rata - 4 h - > 5,6 mg/l

(Directrices de ensayo 403 del OECD)

#### Corrosión o irritación cutáneas

Piel - Conejo

Resultado: No irrita la piel

(Directrices de ensayo 404 del OECD)

#### Lesiones o irritación ocular graves

Ojos - Conejo

Resultado: No irrita los ojos

(Directrices de ensayo 405 del OECD)

#### Sensibilización respiratoria o cutánea

Prueba de Maximización (GPMT) - Conejillo de indias

No produce sensibilización en animales de laboratorio.

(Directrices de ensayo 406 del OECD)

Observaciones: Sin datos disponibles

#### Mutagenicidad en células germinales

Sin datos disponibles

#### Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

#### Toxicidad para la reproducción

Sin datos disponibles

#### Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Sin datos disponibles

#### Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Sin datos disponibles

#### Peligro de aspiración

La sustancia o mezcla se sabe que causa peligro de toxicidad por aspiración para el ser humano o ha de ser considerada como si causara riesgo de toxicidad por aspiración al ser humano.

#### Información Adicional

RTECS: JR2125000

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

---

## SECCIÓN 12: Información ecológica

### 12.1 Toxicidad

Toxicidad para los  
peces

CL50 - Oncorhynchus mykiss (Trucha irisada) - > 1.000 mg/l - 96 h

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos Observaciones: No es tóxico en caso de solubilidad límite

Toxicidad para las algas CE50 - Skeletonema costatum - 57.100 mg/l - 72 h

#### 12.2 Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad aeróbico - Tiempo de exposición 28 d  
Resultado: 83 % - Fácilmente biodegradable.  
(Directrices de ensayo 301F del OECD)

#### 12.3 Potencial de bioacumulación

Bioacumulación Leuciscus idus melanotus - 3 d  
- 37 µg/l

Factor de bioconcentración (FBC): 52

#### 12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

#### 12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

#### 12.6 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles

---

### SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

#### 13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

##### Producto

Este producto combustible puede quemarse en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

##### Envases contaminados

Eliminar como producto no usado.

---

### SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

#### 14.1 Número ONU

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

#### 14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: Mercancía no peligrosa  
IMDG: Not dangerous goods  
IATA: Not dangerous goods

#### 14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

#### 14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

#### 14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

#### 14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

---

### SECCIÓN 15: Información reglamentaria

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

#### 15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Sigma-Aldrich - 297879

Página 7 de 8

Sin datos disponibles

## 15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

---

### SECCIÓN 16: Otra información

#### Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

Asp. Tox.	Peligro de aspiración
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

#### El texto completo de las frases-R referidas en los puntos 2 y 3

Xn	Nocivo
R65	Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.

#### Otros datos

Copyright 2015 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

---

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 6.4 Fecha de revisión 24.10.2014

Fecha de impresión 17.05.2017

## SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

## 1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : Ácido sulfúrico

Referencia : 339741

Marca : Aldrich

No. Índice : 016-020-00-8

REACH No. : 01-2119458838-20-XXXX

No. CAS : 7664-93-9

## 1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

## 1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.  
Ronda de Poniente, 3  
Aptdo. Correos 278  
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

## 1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)  
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

## SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

## 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

**Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Corrosivos para los metales (Categoría 1), H290

Corrosión cutáneas (Categoría 1A), H314

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

**Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE**

C Corrosivo R35

El texto completo de las frases R mencionadas en esta Sección, se indica en la Sección 16.

## 2.2 Elementos de la etiqueta

**Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro

H290

H314

Puede ser corrosivo para los metales.

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Declaración(es) de prudencia

P280

Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.

P305 + P351 + P338

EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

P310

Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA o a un médico.

Declaración Suplementaria del Peligro ninguno(a)

## 2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

## SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

### 3.1 Sustancias

Formula :  $H_2O_4S$   
Peso molecular : 98,08 g/mol  
No. CAS : 7664-93-9  
No. CE : 231-639-5  
No. Indice : 016-020-00-8  
Número de registro : 01-2119458838-20-XXXX

#### Ingredientes peligrosos de acuerdo con el Reglamento (CE) N° 1272/2008

Componente		Clasificación	Concentración
<b>Sulfuric acid</b>			
No. CAS	7664-93-9	Met. Corr. 1; Skin Corr. 1A; H290, H314	<= 100 %
No. CE	231-639-5		
No. Indice	016-020-00-8		
Número de registro	01-2119458838-20-XXXX		

#### Ingrediente peligroso según la Directiva 1999/45/CE

Componente		Clasificación	Concentración
<b>Sulfuric acid</b>			
No. CAS	7664-93-9	C, R35	<= 100 %
No. CE	231-639-5		
No. Indice	016-020-00-8		
Número de registro	01-2119458838-20-XXXX		

Para el texto completo de las frases de Riesgo y Seguridad mencionadas en esta Sección, ver la Sección 16

## SECCIÓN 4: Primeros auxilios

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.

#### Si es tragado

No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

#### **4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

#### **4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**

Sin datos disponibles

---

### **SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios**

#### **5.1 Medios de extinción**

##### **Medios de extinción apropiados**

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

#### **5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Óxidos de azufre

#### **5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

#### **5.4 Otros datos**

Sin datos disponibles

---

### **SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental**

#### **6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Usar protección respiratoria. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras.  
Equipo de protección individual, ver sección 8.

#### **6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

#### **6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Empapar con material absorbente inerte y eliminar como un desecho especial. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

#### **6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

### **SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento**

#### **7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evitar la inhalación de vapor o neblina.  
Ver precauciones en la sección 2.2

#### **7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.  
Clase alemán de almacenamiento (TRGS 510): Materiales corrosivos peligrosos, no combustibles

#### **7.3 Usos específicos finales**

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

---

### **SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual**

#### **8.1 Parámetros de control**

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componente	No. CAS	Valor	Parámetros de control	Base
Sulfuric acid	7664-93-9	VLA-ED	0,05 mg/m3	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional
	Observaciones	<p>Al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que pueden surgir en presencia de otros compuestos del azufre.</p> <p>Véase UNE EN 481: Atmósferas en los puestos de trabajo.</p> <p>Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles.</p> <p>Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o como biocida. Para una información detallada acerca de las prohibiciones consúltase: Base de datos de productos biocidas: <a href="http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/prodQuimicos/sustPreparatorias/biocidas/docs/InclusionesES16.pdf">http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/prodQuimicos/sustPreparatorias/biocidas/docs/InclusionesES16.pdf</a> Base de datos de productos fitosanitarios: <a href="http://www.magrama.gob.es/agricultura/pags/fitos/registro/fichas/pdf/Lista_sa.pdf">http://www.magrama.gob.es/agricultura/pags/fitos/registro/fichas/pdf/Lista_sa.pdf</a></p> <p>Agente químico para el que la U.E. estableció en su día un valor límite indicativo. Todos estos agentes químicos figuran al menos en una de las directivas de valores límite indicativos publicadas hasta ahora (ver Anexo C. Bibliografía). Los estados miembros disponen de un tiempo fijado en dichas directivas para su trasposición a los valores límites de cada país miembro. Una vez adoptados, estos valores tienen la misma validez que el resto de los valores adoptados por el país.</p>		
		TWA	0,05 mg/m3	Europa. DIRECTIVA 2009/161/UE DE LA COMISIÓN por la que se establece una tercera lista de valores límite de exposición profesional indicativos en aplicación de la Directiva 98/24/CE del Consejo y por la que se modifica la Directiva 2000/39/CE de la Comisión
		<p>Al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que pueden surgir en presencia de otros compuestos del azufre.</p> <p>Indicativo</p>		
		VLA-ED	0,05 mg/m3	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional
		<p>Al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que pueden surgir en presencia de otros compuestos del azufre.</p> <p>Véase UNE EN 481: Atmósferas en los puestos de trabajo.</p> <p>Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles.</p> <p>Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o como biocida. Para una información detallada acerca de las prohibiciones consúltase: Base de datos de productos biocidas:</p>		



		<a href="http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/prodQuimicos/sustPreparatorias/biocidas/docs/InclusionesES16.pdf">http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/prodQuimicos/sustPreparatorias/biocidas/docs/InclusionesES16.pdf</a> Base de datos de productos fitosanitarios: <a href="http://www.magrama.gob.es/agricultura/pags/fitos/registro/fichas/pdf/Lista_sa.pdf">http://www.magrama.gob.es/agricultura/pags/fitos/registro/fichas/pdf/Lista_sa.pdf</a> Agente químico para el que la U.E. estableció en su día un valor límite indicativo. Todos estos agentes químicos figuran al menos en una de las directivas de valores límite indicativos publicadas hasta ahora (ver Anexo C. Bibliografía). Los estados miembros disponen de un tiempo fijado en dichas directivas para su trasposición a los valores límites de cada país miembro. Una vez adoptados, estos valores tienen la misma validez que el resto de los valores adoptados por el país.
--	--	---

#### Nivel sin efecto derivado (DNEL)

Área de aplicación	Vía de exposición	Efecto en la salud	Valor
Trabajadores	Inhalación	Aguda - efectos locales	0,1 mg/m <sup>3</sup>
Trabajadores	Inhalación	A largo plazo - efectos locales	0,05 mg/m <sup>3</sup>

#### Concentración prevista sin efecto (PNEC)

Compartimento	Valor
Agua de mar	0,00025 mg/l
Agua dulce	0,0025 mg/l
Sedimento marino	0,002 mg/kg
Sedimento de agua dulce	0,002 mg/kg
Planta de tratamiento de aguas residuales in situ	8,8 mg/l

## 8.2 Controles de la exposición

### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

### Protección personal

#### Protección de los ojos/ la cara

Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro. Visera protectora (mínimo 20 cm). Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

#### Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

#### Sumerción

Material: Caucho fluorado

espesura minima de capa: 0,7 mm

tiempo de penetración: 480 min

Material probado: Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

#### Salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0,2 mm

tiempo de penetración: 30 min

Material probado: Dermatrill® P (KCL 743 / Aldrich Z677388, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

### **Protección Corporal**

Traje de protección completo contra productos químicos, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

### **Protección respiratoria**

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinación multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesta para controles de ingeniería. Si el respirador es la única protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

### **Control de exposición ambiental**

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

---

## **SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas**

### **9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

a) Aspecto	Forma: claro, líquido
b) Olor	Sin datos disponibles
c) Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d) pH	1,2 a 5 g/l
e) Punto de fusión/ punto de congelación	3 °C
f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	290 °C - lit.
g) Punto de inflamación	No aplicable
h) Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Sin datos disponibles
k) Presión de vapor	1,33 hPa a 145,8 °C
l) Densidad de vapor	3,39 - (Aire = 1.0)
m) Densidad relativa	1,84 g/cm <sup>3</sup> a 25 °C
n) Solubilidad en agua	soluble
o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	Sin datos disponibles
p) Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q) Temperatura de	Sin datos disponibles

descomposición

- |    |                            |                       |
|----|----------------------------|-----------------------|
| r) | Viscosidad                 | Sin datos disponibles |
| s) | Propiedades explosivas     | Sin datos disponibles |
| t) | Propiedades<br>comburentes | Sin datos disponibles |

## 9.2 Otra información de seguridad

Tensión superficial	55,1 mN/m a 20 °C
Densidad relativa del vapor	3,39 - (Aire = 1.0)

---

## SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

### 10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

### 10.2 Estabilidad química

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Sin datos disponibles

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

Sin datos disponibles

### 10.5 Materiales incompatibles

Bases, Haluros, Materiales orgánicos, Carburos, fulminatos, Nitratos, picratos, Cianuros, cloratos, haluros alcalinos, sales de zinc, Permanganatos, por ejemplo, permanganato de potasio, Peróxido de hidrógeno, azidas, Percloratos, Nitrometano, fósforo, Reacciona violentamente con: ciclopentadieno, oxima de ciclopentadieno, nitroarilaminas, disulfuro de hexilitio, óxido de fósforo(III), Metales en polvo

### 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles  
En caso de incendio: véase sección 5

---

## SECCIÓN 11: Información toxicológica

### 11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

#### Toxicidad aguda

DL50 Oral - Rata - 2.140 mg/kg

CL50 Inhalación - Rata - 2 h - 510 mg/m<sup>3</sup>

#### Corrosión o irritación cutáneas

Piel - Conejo

Resultado: Extremadamente corrosivo y destructivo para los tejidos.

#### Lesiones o irritación ocular graves

Ojos - Conejo

Resultado: Corrosivo para los ojos

#### Sensibilización respiratoria o cutánea

Sin datos disponibles

#### Mutagenicidad en células germinales

Sin datos disponibles

#### Carcinogenicidad

La IARC (International Agency for Research on Cancer; Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer) ha determinado que la exposición profesional a aerosoles de ácidos inorgánicos fuertes que contengan ácido sulfúrico es cancerígena en humanos (grupo 1).

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o

igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC)  
Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

#### **Toxicidad para la reproducción**

Sin datos disponibles

#### **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

Sin datos disponibles

#### **Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**

Sin datos disponibles

#### **Peligro de aspiración**

Sin datos disponibles

#### **Información Adicional**

RTECS: WS5600000

El producto causa severa destrucción de los tejidos de las membranas mucosas, el tracto respiratorio superior, los ojos y la piel., espasmo, inflamación y edema de la laringe, espasmo, inflamación y edema de los bronquios, neumonitis, edema pulmonar, quemazón, Tos, sibilancia, laringitis, Insuficiencia respiratoria, Dolor de cabeza, Náusea, Vómitos, Edema pulmonar. Los efectos pueden no ser inmediatos., Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

---

### **SECCIÓN 12: Información ecológica**

#### **12.1 Toxicidad**

Toxicidad para los peces CL50 - Gambusia affinis (Pez mosquito) - 42 mg/l - 96 h

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos CE50 - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 29 mg/l - 24 h

#### **12.2 Persistencia y degradabilidad**

Los métodos para la determinación de la degradabilidad biológica no son aplicables para las sustancias inorgánicas.

#### **12.3 Potencial de bioacumulación**

Sin datos disponibles

#### **12.4 Movilidad en el suelo**

Sin datos disponibles

#### **12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

#### **12.6 Otros efectos adversos**

---

### **SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación**

#### **13.1 Métodos para el tratamiento de residuos**

##### **Producto**

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

##### **Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

---

### **SECCIÓN 14: Información relativa al transporte**

#### **14.1 Número ONU**

ADR/RID: 1830

IMDG: 1830

IATA: 1830

**14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**

ADR/RID: ÁCIDO SULFÚRICO

IMDG: SULPHURIC ACID

IATA: Sulphuric acid

**14.3 Clase(s) de peligro para el transporte**

ADR/RID: 8

IMDG: 8

IATA: 8

**14.4 Grupo de embalaje**

ADR/RID: II

IMDG: II

IATA: II

**14.5 Peligros para el medio ambiente**

ADR/RID: no

IMDG Marine pollutant: no

IATA: no

**14.6 Precauciones particulares para los usuarios**

Sin datos disponibles

---

**SECCIÓN 15: Información reglamentaria**

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

**15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**

Sin datos disponibles

**15.2 Evaluación de la seguridad química**

Se ha realizado una Valoración de la Seguridad Química para esta sustancia.

---

**SECCIÓN 16: Otra información****Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.**

H290

Puede ser corrosivo para los metales.

H314

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Met. Corr.

Corrosivos para los metales

Skin Corr.

Corrosión cutáneas

**El texto completo de las frases-R referidas en los puntos 2 y 3**

C

Corrosivo

R35

Provoca quemaduras graves.

**Otros datos**

Copyright 2014 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

---

## Anexo: Escenarios de exposición

### Usos identificados:

#### Uso: Se utiliza como químico intermedio

<b>SU 3:</b> Usos industriales: Usos de sustancias como tales o en preparados en emplazamientos industriales
<b>SU 3, SU9:</b> Usos industriales: Usos de sustancias como tales o en preparados en emplazamientos industriales, Fabricación de productos químicos finos
<b>PROC1:</b> Uso en procesos cerrados, exposición improbable
<b>PROC2:</b> Utilización en procesos cerrados y continuos con exposición ocasional controlada
<b>PROC3:</b> Uso en procesos por lotes cerrados (síntesis o formulación)
<b>PROC4:</b> Utilización en procesos por lotes y de otro tipo (síntesis) en los que se puede producir la exposición
<b>PROC8b:</b> Transferencia de sustancias o preparados (carga/ descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas
<b>PROC9:</b> Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje)
<b>PROC15:</b> Uso como reactivo de laboratorio
<b>ERC1:</b> Fabricación de sustancias

#### Uso: Formulación de preparados

<b>SU 3:</b> Usos industriales: Usos de sustancias como tales o en preparados en emplazamientos industriales
<b>SU 10:</b> Formulación [mezcla] de preparados y/ o reenvasado (sin incluir aleaciones)
<b>PROC1:</b> Uso en procesos cerrados, exposición improbable
<b>PROC3:</b> Uso en procesos por lotes cerrados (síntesis o formulación)
<b>PROC5:</b> Mezclado en procesos por lotes para la formulación de preparados y artículos (fases múltiples y/ o contacto significativo)
<b>PROC8b:</b> Transferencia de sustancias o preparados (carga/ descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas
<b>PROC9:</b> Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje)
<b>ERC2:</b> Formulación de preparados

#### Uso: Se usa como un reactivo de laboratorio

<b>SU 22:</b> Usos profesionales: Ámbito público (administración, educación, espectáculos, servicios, artesanía)
<b>SU 3, SU 22, SU24:</b> Usos industriales: Usos de sustancias como tales o en preparados en emplazamientos industriales, Usos profesionales: Ámbito público (administración, educación, espectáculos, servicios, artesanía), Investigación y desarrollo científicos
<b>PC21:</b> Productos químicos de laboratorio
<b>PROC15:</b> Uso como reactivo de laboratorio
<b>ERC4, ERC6a:</b> Uso industrial de auxiliares tecnológicos en procesos y productos, que no forman parte de artículos, Uso industrial que da lugar a la fabricación de otra sustancia (uso de sustancias intermedias)

### 1. Título breve del escenario de exposición: Se utiliza como químico intermedio

Grupos de usuarios principales	: <b>SU 3</b>
Sectores de uso final	: <b>SU 3, SU9</b>
Categorías de proceso	: <b>PROC1, PROC2, PROC3, PROC4, PROC8b, PROC9, PROC15</b>
Categorías de emisión al medio ambiente	: <b>ERC1:</b>

### 2. Escenarios de exposición

#### 2.1 Escenario de contribución que controla la exposición ambiental para: ERC1

##### Características del producto

Concentración de la sustancia en la Mezcla/Artículo	: Cubre un porcentaje de 100% de sustancia en el producto (a menos que se indique lo contrario).
---	--

## 2.2 Escenario de contribución que controla la exposición de los trabajadores para: PROC1, PROC2, PROC3, PROC4, PROC8b, PROC9, PROC15

### Características del producto

Concentración de la sustancia en la Mezcla/Artículo : Cubre un porcentaje de 100% de sustancia en el producto (a menos que se indique lo contrario).  
Forma física (en el momento del uso) : Sustancia líquida

### Frecuencia y duración del uso

Duración de la aplicación : > 4 h  
Frecuencia de uso : 220 días / año

### Otras condiciones operacionales que afectan a la exposición de los trabajadores

Al exterior / Al Interior : Al Interior

### Medidas y condiciones técnicas

Utilizar solamente en áreas provistas de ventilación y extracción apropiadas., Se requiere una buena práctica de trabajo.

### Medidas organizativas para prevenir/limitar emisiones, dispersión y exposición

Asegúrese de que los operarios estén capacitados para minimizar las exposiciones.

### Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud

Utilice protección adecuada para los ojos y guantes., Equipo de protección individual, ver sección 8.

## 3. Estimación de la exposición y referencia a su fuente

### Medio Ambiente

Se realizó una valoración de la seguridad química según Artículo 14(3) y Anexo I, Párrafo 3 (valoración del peligro para el medio ambiente) y 4 (valoración PBT y MPMB) de REACH. Como no se identificaron peligros no son necesarias una estimación de la exposición ni una caracterización del riesgo (REACH, Anexo I, Párrafo 5.0).

### Trabajadores

Escenario contributivo	Método de Evaluación de la exposición	Condiciones específicas	Valor	Nivel de exposición	RCR*
PROC1	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0 mg/m <sup>3</sup>	0
PROC2	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0 mg/m <sup>3</sup>	0
PROC3	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0,0004 mg/m <sup>3</sup>	0,008
PROC4	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0,014 mg/m <sup>3</sup>	0,28
PROC8b	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0 mg/m <sup>3</sup>	0
PROC9	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0,003 mg/m <sup>3</sup>	0,06
PROC15	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0,0002 mg/m <sup>3</sup>	0,004

\*Cociente de caracterización del riesgo

#### 4. Orientación al Usuario Intermedio para evaluar si trabaja dentro de los límites fijados por el Escenario de Exposición

Consulte los documentos siguientes: Please refer to the following documents: ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part D: Exposure Scenario Building, Part E: Risk Characterisation and Part G: Extending the SDS; VCI/Cefic REACH Practical Guides on Exposure Assessment and Communications in the Supply Chain; CEFIC Guidance Specific Environmental Release Categories (SPERCs).

---

#### 1. Título breve del escenario de exposición: Formulación de preparados

---

Grupos de usuarios principales	: SU 3
Sectores de uso final	: SU 10
Categorías de proceso	: PROC1, PROC3, PROC5, PROC8b, PROC9
Categorías de emisión al medio ambiente	: ERC2:

#### 2. Escenarios de exposición

##### 2.1 Escenario de contribución que controla la exposición ambiental para: ERC2

###### Características del producto

Concentración de la sustancia en la Mezcla/Artículo	: Cubre un porcentaje de 100% de sustancia en el producto (a menos que se indique lo contrario).
---	--

##### 2.2 Escenario de contribución que controla la exposición de los trabajadores para: PROC1, PROC3, PROC5, PROC8b, PROC9

###### Características del producto

Concentración de la sustancia en la Mezcla/Artículo	: Cubre un porcentaje de 100% de sustancia en el producto (a menos que se indique lo contrario).
Forma física (en el momento del uso)	: Sustancia líquida

###### Frecuencia y duración del uso

Duración de la aplicación	: > 4 h
Frecuencia de uso	: 220 días / año

###### Otras condiciones operacionales que afectan a la exposición de los trabajadores

Al exterior / Al Interior	: Al Interior
---------------------------	---------------

###### Medidas y condiciones técnicas

Utilizar solamente en áreas provistas de ventilación y extracción apropiadas., Se requiere una buena práctica de trabajo.

###### Medidas organizativas para prevenir/limitar emisiones, dispersión y exposición

Asegúrese de que los operarios estén capacitados para minimizar las exposiciones.

###### Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud

Utilice protección adecuada para los ojos y guantes., Equipo de protección individual, ver sección 8.

#### 3. Estimación de la exposición y referencia a su fuente

##### Medio Ambiente

Se realizó una valoración de la seguridad química según Artículo 14(3) y Anexo I, Párrafo 3 (valoración del peligro para el medio ambiente) y 4 (valoración PBT y MPMB) de REACH. Como no se identificaron peligros no son necesarias una estimación de la exposición ni una caracterización del riesgo (REACH, Anexo I, Párrafo 5.0).

##### Trabajadores



Escenario contributivo	Método de Evaluación de la exposición	Condiciones específicas	Valor	Nivel de exposición	RCR*
PROC1	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0 mg/m <sup>3</sup>	0
PROC3	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0,0004 mg/m <sup>3</sup>	0,008
PROC5	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0,018 mg/m <sup>3</sup>	0,36
PROC8b	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0 mg/m <sup>3</sup>	0
PROC9	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0,003 mg/m <sup>3</sup>	0,06

\*Cociente de caracterización del riesgo

#### 4. Orientación al Usuario Intermedio para evaluar si trabaja dentro de los límites fijados por el Escenario de Exposición

Consulte los documentos siguientes: Please refer to the following documents: ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part D: Exposure Scenario Building, Part E: Risk Characterisation and Part G: Extending the SDS; VCI/Cefic REACH Practical Guides on Exposure Assessment and Communications in the Supply Chain; CEFIC Guidance Specific Environmental Release Categories (SPERCs).

#### 1. Título breve del escenario de exposición: Se usa como un reactivo de laboratorio

Grupos de usuarios principales : SU 22  
 Sectores de uso final : SU 3, SU 22, SU24  
 Categoría de productos químicos : PC21  
 Categorías de proceso : PROC15  
 Categorías de emisión al medio ambiente : ERC4, ERC6a:

#### 2. Escenarios de exposición

##### 2.1 Escenario de contribución que controla la exposición ambiental para: ERC4, ERC6a

###### Características del producto

Concentración de la sustancia en la Mezcla/Artículo : Cubre un porcentaje de 100% de sustancia en el producto (a menos que se indique lo contrario).

##### 2.2 Escenario de contribución que controla la exposición de los trabajadores para: PROC15, PC21

###### Características del producto

Concentración de la sustancia en la Mezcla/Artículo : Cubre un porcentaje de 100% de sustancia en el producto (a menos que se indique lo contrario).  
 Forma física (en el momento del uso) : Sustancia líquida

###### Frecuencia y duración del uso

Duración de la aplicación : > 4 h  
 Frecuencia de uso : 220 días / año

###### Otras condiciones operacionales que afectan a la exposición de los trabajadores

Al exterior / Al Interior : Al Interior

###### Medidas y condiciones técnicas

Utilizar solamente en áreas provistas de ventilación y extracción apropiadas., Se requiere una buena práctica de trabajo.

**Medidas organizativas para prevenir/limitar emisiones, dispersión y exposición**

Asegúrese de que los operarios estén capacitados para minimizar las exposiciones.

**Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud**

Utilice protección adecuada para los ojos y guantes., Equipo de protección individual, ver sección 8.

**3. Estimación de la exposición y referencia a su fuente****Medio Ambiente**

Se realizó una valoración de la seguridad química según Artículo 14(3) y Anexo I, Párrafo 3 (valoración del peligro para el medio ambiente) y 4 (valoración PBT y MPMB) de REACH. Como no se identificaron peligros no son necesarias una estimación de la exposición ni una caracterización del riesgo (REACH, Anexo I, Párrafo 5.0).

**Trabajadores**

Escenario contributivo	Método de Evaluación de la exposición	Condiciones específicas	Valor	Nivel de exposición	RCR*
PROC15	ECETOC TRA	Con Ventilación por Extracción Local	Inhalación	0,0002 mg/m <sup>3</sup>	0,004

\*Cociente de caracterización del riesgo

**4. Orientación al Usuario Intermedio para evaluar si trabaja dentro de los límites fijados por el Escenario de Exposición**

Consulte los documentos siguientes: Please refer to the following documents: ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part D: Exposure Scenario Building, Part E: Risk Characterisation and Part G: Extending the SDS; VCI/Cefic REACH Practical Guides on Exposure Assessment and Communications in the Supply Chain; CEFIC Guidance Specific Environmental Release Categories (SPERCs).

---

---

# DOCUMENTO II:

# PLANOS

---

Planta de producción de isooctano

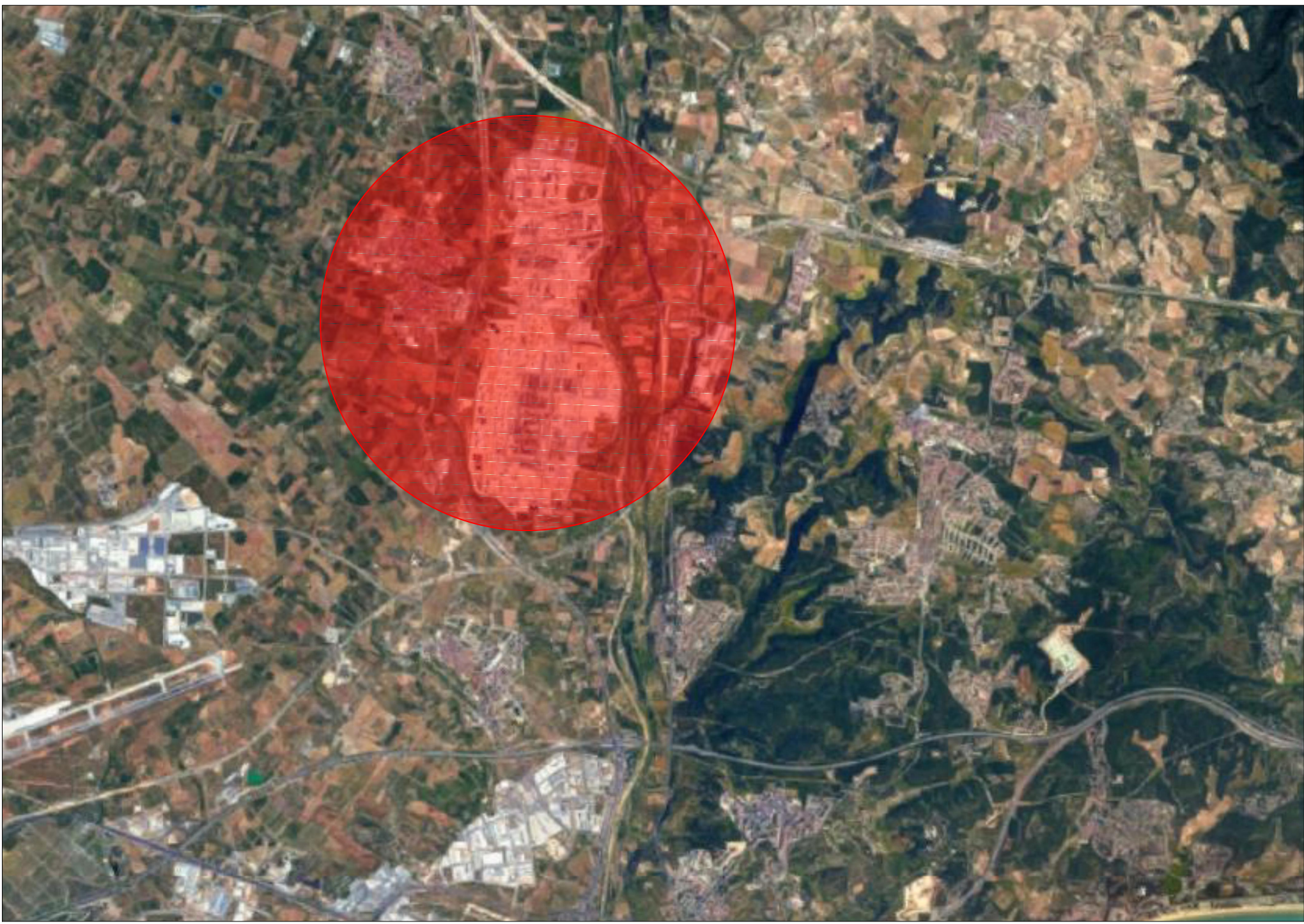
## ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1: Emplazamiento
- Plano 2: Diagrama de flujo
- Plano 3: Diagrama de instrumentación y tuberías
- Plano 4: Implantación
- Plano 5: Reactor de alquilación R-201





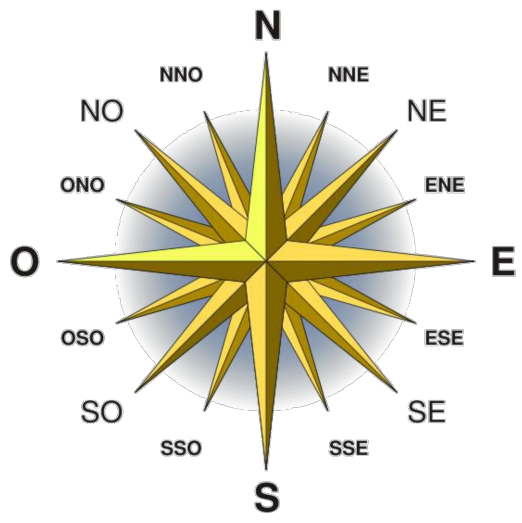
Cataluña



Comarca de Tarragonés. Escala: 1:50000



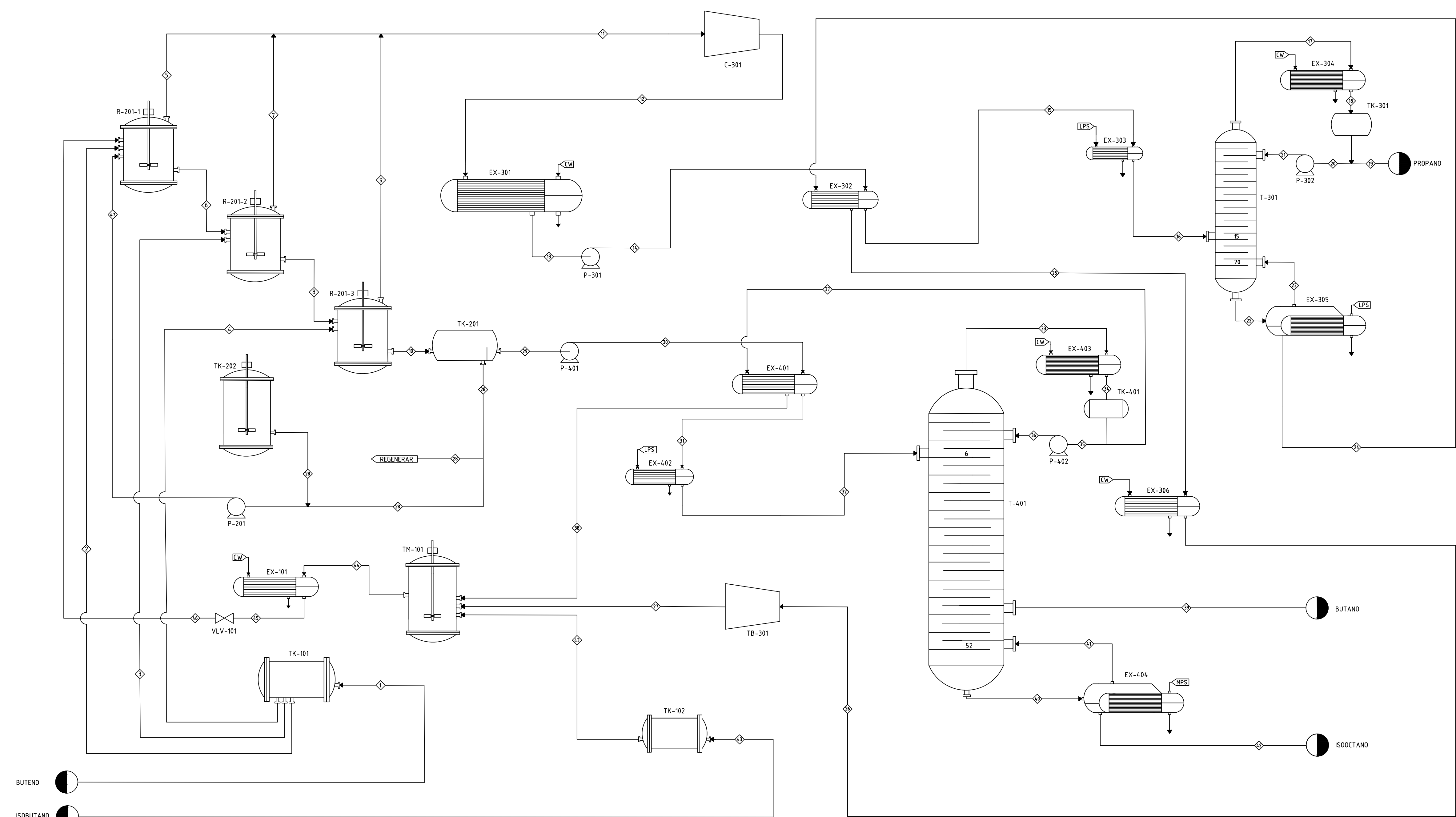
Parcela seleccionada. Escala: 1:2000. Coordenadas UTM: 31T 351556 m E 4562612 m N



Complejo industrial de Repsol  
Escala: 1:10000

<div><div>USC</div><div>UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA</div></div> <div>GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Universidad de Santiago de Compostela</div> <div>ETSE</div>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOCTANO A PARTIR DE LA FRACCIÓN C <sub>4</sub> DEL PETRÓLEO		
Título del plano: Plano de emplazamiento		
Autor: Samuel Fragua Somoza		Fecha: Julio 2017
Nº Plano: 1	Escala: 1:2000	Firma:





Utilidades		Corriente	
CW	Agua de refrigeración	◇	Número de corriente
LPS	Vapor de baja presión		Nomenclatura de los equipos
MPS	Vapor de media presión		XX-YYZ
		XX	Letra que define al equipo
		Y	Sección de la planta donde se sitúa
		ZZ	Número del equipo

EQUIPOS DE LA PLANTA	
SECCIÓN 100: ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	
TK-101	Tanque de alimentación de buteno
TK-102	Tanque pulmón de alimentación de i-butano
TM-101	Tanque de mezcla de isobutano
VLV-101	Válvula reductora de presión
EX-101	Intercambiador de calor
SECCIÓN 200: REACCIÓN Y TRATAMIENTO DEL ÁCIDO SULFÚRICO	
R-201-1	Reactor de alquilación, primer compartimento
R-201-2	Reactor de alquilación, segundo compartimento
R-201-3	Reactor de alquilación, tercer compartimento
TK-201	Separador de fases
P-201	Bomba centrífuga
TK-202	Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico
SECCIÓN 300: PURIFICACIÓN DEL VAPOR Y PURGA DE PROPANO	
C-301	Compresor recíprocante
EX-301	Intercambiador de calor
P-301	Bomba centrífuga
EX-302	Intercambiador de calor
EX-303	Intercambiador de calor
T-301	Columna de destilación
EX-304	Intercambiador de calor
TK-301	Tanque de condensado
P-302	Bomba centrífuga
EX-305	Intercambiador de calor
EX-306	Intercambiador de calor
TB-301	Turbina
SECCIÓN 400: PURIFICACIÓN DEL ISOOCCTANO	
P-401	Bomba centrífuga
EX-401	Intercambiador de calor
EX-402	Intercambiador de calor
T-401	Columna de destilación
EX-403	Intercambiador de calor
TK-401	Tanque de condensado
P-402	Bomba centrífuga
EX-404	Intercambiador de calor

Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Temperatura (°C)	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50	54,37	53,53	53,53	67,00	86,00	43,85	42,85	42,85	42,85	42,85	86,45	86,45	86,45	74,54	39,00	39,00	19,50	19,50	19,50	28,00	67,50	48,65	47,62	47,62	47,62	47,62	39,00	61,67	135,00	172,10	172,10	19,50	39,00	19,50	19,50	19,50
P (kPa)	325,00	325,00	325,00	325,00	300,00	300,00	285,00	285,00	270,00	270,00	270,00	790,00	790,00	1521,31	1506,40	1500,00	1499,25	1469,25	1468,65	1468,65	1500,00	1500,00	1490,00	1500,00	1469,00	1456,13	600,00	270,00	270,00	1017,02	1005,00	1000,00	625,00	624,50	624,43	650,00	624,43	610,31	650,00	650,00	650,00	600,00	550,00	528,70	325,00	325,00	
Fracción de vapor	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Q (kg/h)	1873,13	624,37	624,38	624,38	7235,50	48929,18	1253,36	48300,20	1230,64	47693,69	9719,50	9719,50	9719,50	9719,50	9719,50	9719,50	3296,79	3296,79	129,54	3167,25	3167,25	12886,75	3296,79	9589,96	9589,96	9589,96	9589,96	16009,51	31684,43	31684,43	31684,43	31684,43	221317,08	221317,08	192462,18	192462,18	28854,90	28854,90	951,95	203224,50	201346,92	1877,58	1085,94	39530,80	39530,80	39530,80	16009,51
Propano (kg/h)	73,21	24,40	24,41	24,40	323,80	582,46	55,28	551,59	54,27	521,72	433,35	433,35	433,35	433,35	433,35	433,35	2924,46	2924,46	114,91	2809,55	2809,55	3242,90	2924,46	318,44	318,44	318,44	318,44	-	521,72	521,72	521,72	521,72	4001,59	4001,59	3479,87	3479,87	521,72	521,72	-	-	-	-	41,70	881,86	881,86	881,86	-
n-Butano (kg/h)	482,47	160,81	160,83	160,83	324,28	2038,91	61,43	2138,31	65,30	2233,84	451,01	451,01	451,01	451,01	451,01	451,01	-	-	-	-	-	451,01	-	451,01	451,01	451,01	451,01	-	2233,84	2233,84	2233,84	2233,84	9639,12	9639,12	8382,39	8382,39	1256,73	1256,73	929,60	25184,35	25136,84	47,51	494,64	2202,38	2202,38	2202,38	-
i-Butano (kg/h)	385,98	128,67	128,66	128,66	6582,86	29658,98	1135,51	28345,29	1103,84	27079,40	8822,21	8822,21	8822,21	8822,21	8822,21	8822,21	372,33	372,33	14,63	357,70	357,70	9179,91	372,33	8807,58	8807,58	8807,58	8807,58	-	27079,40	27079,40	27079,40	27079,40	207652,21	207652,21	180578,91	180578,91	27073,30	27073,30	6,09	58,42	58,41	0,01	549,60	36430,48	36430,48	36430,48	-
Buteno (kg/h)	931,47	310,49	310,48	310,49	1,34	6,90	0,26	7,46	6,09	4,33	7,69	7,69	7,69	7,69	7,69	7,69	-	-	-	-	-	7,69	-	7,69	7,69	7,69	7,69	-	4,33	4,33	4,33	4,33	24,16	24,16	21,01	21,01	3,15	3,15	1,18	0,19	0,19	-	-	10,84	10,84	10,84	-
i-Octano (kg/h)	-	-	-	-	3,22	611,79	0,88	1186,52	1,14	1701,88	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24	-	-	-	-	-	5,24	-	5,24	5,24	5,24	5,24	-	1701,88	1701,88	1701,88	1701,88	-	-	-	-	-	-	14,43	176349,70	174662,3	1687,45	-	5,24	5,24	5,24	-
Dodecano (kg/h)	-	-	-	-	-	20,63	-	61,52	-	143,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143,26	143,26	143,26	143,26	-	-	-	-	-	-	0,65	1631,84	1489,23	142,61	-	-	-	-	-
Ácido sulfúrico (kg/h)	-	-	-	-	-	16009,51	-	16009,51	-	16009,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16009,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16009,51

USC

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Universidad de Santiago de Compostela

ET

SE

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOOCCTANO A PARTIR DE LA FRACCIÓN C<sub>4</sub> DEL PETRÓLEO

Título del plano: Diagrama de flujo

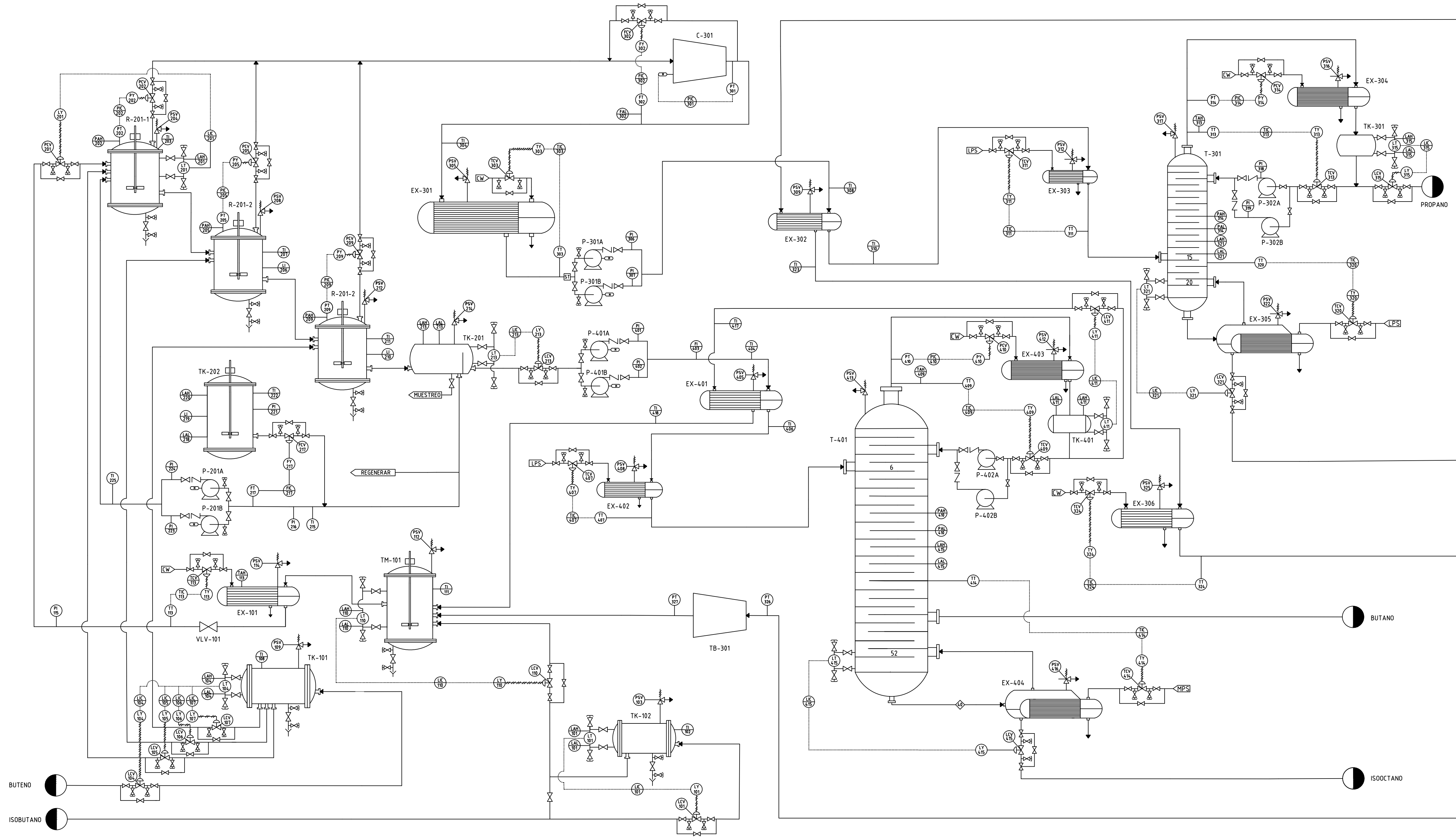
Autor: Samuel Fragua Somoza

Fecha: Julio 2017

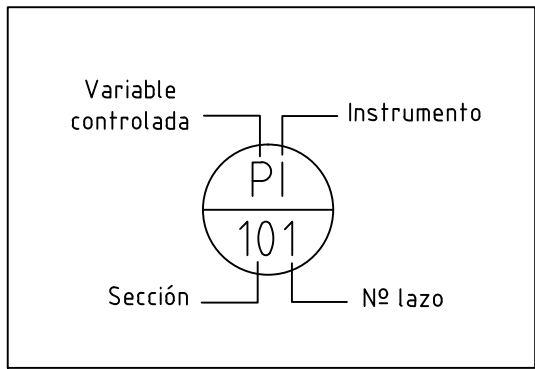
Nº Plano: 2

Escala: S/E

Firma:



EQUIPOS DE LA PLANTA	
SECCIÓN 100: ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	
TK-101	Tanque de alimentación de buteno
TK-102	Tanque pulmón de alimentación de i-butano
TM-101	Tanque de mezcla de isobutano
VLV-101	Válvula reductora de presión
EX-101	Intercambiador de calor
SECCIÓN 200: REACCIÓN Y TRATAMIENTO DEL ÁCIDO SULFÚRICO	
R-201-1	Reactor de alquilación, primer compartimento
R-201-2	Reactor de alquilación, segundo compartimento
R-201-3	Reactor de alquilación, tercer compartimento
TK-201	Separador de fases
P-201	Bomba centrífuga
TK-202	Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico
SECCIÓN 300: PURIFICACIÓN DEL VAPOR Y PURGA DE PROPANO	
C-301	Compresor recíprocante
EX-301	Intercambiador de calor
P-301	Bomba centrífuga
EX-302	Intercambiador de calor
EX-303	Intercambiador de calor
T-301	Columna de destilación
EX-304	Intercambiador de calor
TK-301	Tanque de condensado
P-302	Bomba centrífuga
EX-305	Intercambiador de calor
EX-306	Intercambiador de calor
TB-301	Turbina
SECCIÓN 400: PURIFICACIÓN DEL ISOOCCTANO	
P-401	Bomba centrífuga
EX-401	Intercambiador de calor
EX-402	Intercambiador de calor
T-401	Columna de destilación
EX-403	Intercambiador de calor
TK-401	Tanque de condensado
P-402	Bomba centrífuga
EX-404	Intercambiador de calor



Instrumentos	
A	Alarma
C	Controlador
H	Alto
I	Indicador
L	Bajo
S	Seguridad
T	Transmisor
V	Válvula

Variables	
F	Flujo
L	Nivel
P	Presión
T	Temperatura

Nomenclatura de los equipos	
XX-YYZ	
XX	Letra que define al equipo
Y	Sección de la planta donde se sitúa
ZZ	Número del equipo

Válvulas	
	Válvula de control
	Válvula antirretorno
	Válvula de alivio
	Válvula de corte



GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
Universidad de Santiago de Compostela



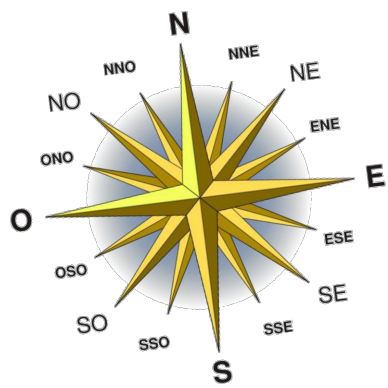
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOOCCTANO A PARTIR  
DE LA FRACCIÓN C<sub>4</sub> DEL PETRÓLEO

Título del plano: Diagrama de instrumentación y control

Autor: Samuel Fragua Somoza Fecha: Julio 2017

Nº Plano: 3 Escala: S/E Firma:





EQUIPOS DE LA PLANTA	
SECCIÓN 100: ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	
TK-101	Tanque de alimentación de buteno
TK-102	Tanque pulmón de alimentación de i-butano
TM-101	Tanque de mezcla de isobutano
VLV-101	Válvula reductora de presión
EX-101	Intercambiador de calor
SECCIÓN 200: REACCIÓN Y TRATAMIENTO DEL ÁCIDO SULFÚRICO	
R-201-1	Reactor de alquilación, primer comparimento
R-201-2	Reactor de alquilación, segundo comparimento
R-201-3	Reactor de alquilación, tercer comparimento
TK-201	Separador de fases
P-201	Bomba centrífuga
TK-202	Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico
SECCIÓN 300: PURIFICACIÓN DEL VAPOR Y PURGA DE PROPANO	
C-301	Compresor recíprocante
EX-301	Intercambiador de calor
P-301	Bomba centrífuga
EX-302	Intercambiador de calor
EX-303	Intercambiador de calor
T-301	Columna de destilación
EX-304	Intercambiador de calor
TK-301	Tanque de condensado
P-302	Bomba centrífuga
EX-305	Intercambiador de calor
EX-306	Intercambiador de calor
TB-301	Turbina
SECCIÓN 400: PURIFICACIÓN DEL ISOCTANO	
P-401	Bomba centrífuga
EX-401	Intercambiador de calor
EX-402	Intercambiador de calor
T-401	Columna de destilación
EX-403	Intercambiador de calor
TK-401	Tanque de condensado
P-402	Bomba centrífuga
EX-404	Intercambiador de calor



GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
Universidad de Santiago de Compostela



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOCTANO A PARTIR  
DE LA FRACCIÓN C<sub>4</sub> DEL PETRÓLEO

Título del plano: Plano de implantación

Autor: Samuel Fragua Somoza

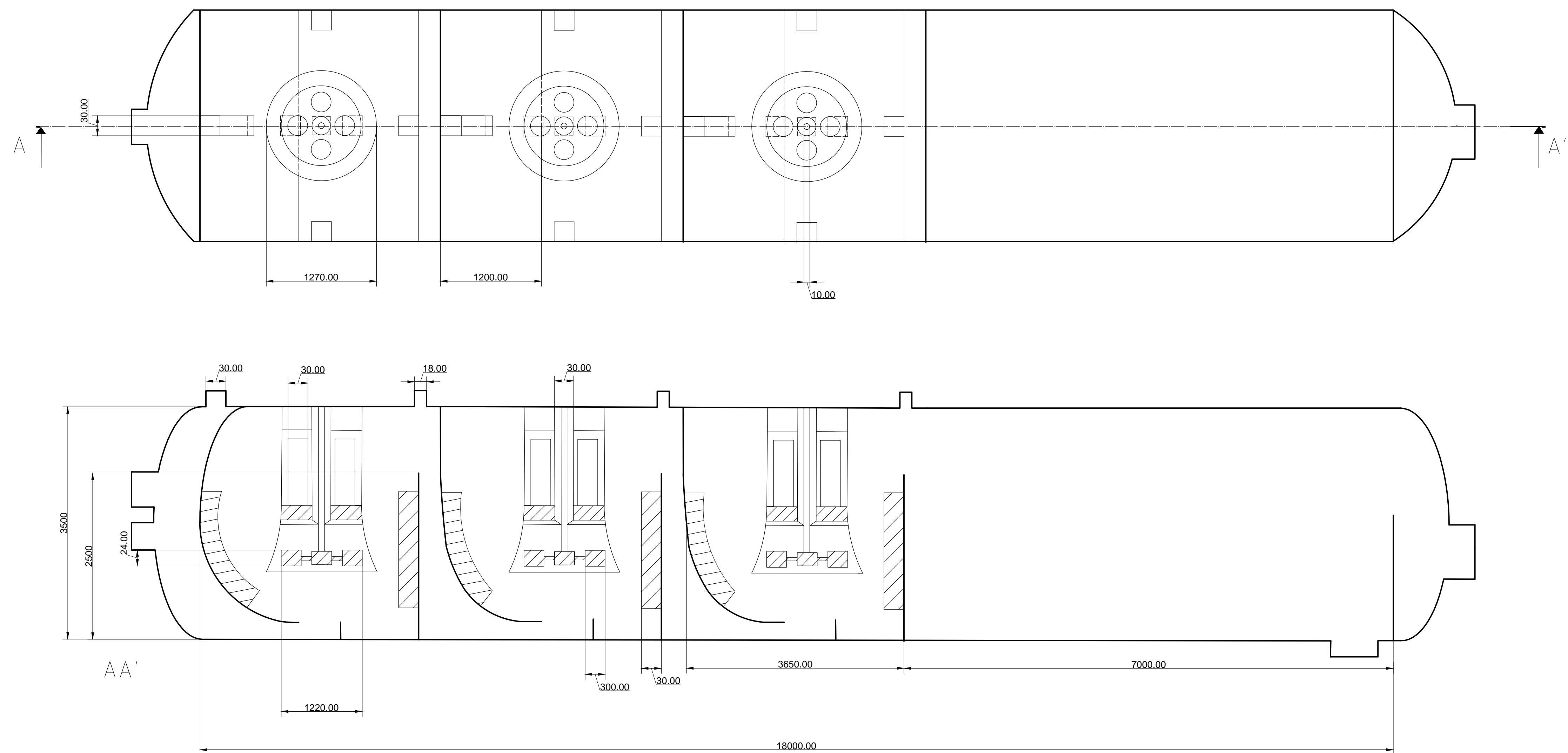
Fecha: Julio 2017

Nº Plano: 4

Escala: 1:500

Firma:





Reactor de alquilación R-201  
Material de construcción: Acero inoxidable  
Medidas en milímetros

		<b>GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA</b> <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA</b> <b>Universidad de Santiago de Compostela</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOCTANO A PARTIR DE LA FRACCIÓN C <sub>4</sub> DEL PETRÓLEO				
Título del plano: Reactor de alquilación R-201				
Autor: Samuel Fragua Somoza			Fecha: Julio 2017	
Nº Plano: 5	Escala: 1:40		Firma:	

---

# DOCUMENTO III: PLIEGO DE CONDICIONES

---

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOOCTANO

# ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1.	DISPOSICIONES GENERALES .....	5
1.1.	Objetivo .....	5
1.2.	Concurso .....	5
1.3.	Contrato. Responsabilidad del adjudicatario .....	6
1.4.	Programa.....	9
1.5.	Estudios. Documentación técnica .....	10
1.6.	Pliego, instrucciones y normas aplicadas .....	12
1.7.	Seguridad y accidentes en el trabajo .....	13
2.	CALIDAD DE LOS MATERIALES .....	14
2.1.	Materiales en general .....	14
2.2.	Aceros .....	14
2.3.	Otros materiales .....	15
3.	NORMAS DE CÁLCULO .....	16
4.	DISPOSICIONES GENERALES DE LAS OBRAS .....	17
4.1.	Replanteo de las obras .....	17
4.2.	Plazo de ejecución .....	17
4.3.	Mano de obra .....	18
4.4.	Reformas en el proyecto .....	19
4.5.	Contradicciones, omisiones o errores en los documentos .....	20
4.6.	Trabajos defectuosos o no autorizados .....	20
4.7.	Suspensión de las obras .....	21
4.8.	Seguros y asistencia médica .....	22
5.	ENSAYOS, PRUEBAS Y PROTECCIONES .....	23
5.1.	Ensayos en taller .....	23
5.2.	Presentación en taller .....	23
5.3.	Protección contra corrosión .....	23

5.3.1.	Intercambiadores de calor.....	24
5.3.2.	Tuberías .....	25
5.3.3.	Columnas y depósitos a presión .....	25
5.3.4.	Bombas .....	25
6.	INSPECCIÓN, RECEPCIÓN Y PLAZOS DE GARANTÍA .....	27
6.1.	Inspección fabril .....	27
6.2.	Montaje e inspección .....	27
6.3.	Controles.....	28
6.3.1.	Intercambiadores de calor.....	28
6.3.2.	Tuberías .....	29
6.3.3.	Depósitos a presión y columnas .....	29
6.3.4.	Bombas .....	29
6.3.5.	Prueba hidráulica en taller .....	29
6.4.	Acta de fin de montaje .....	30
6.5.	Ajustes, ensayos y servicio experimental .....	30
6.6.	Recepción provisional.....	30
6.7.	Período de garantía .....	31
6.8.	Recepción definitiva .....	31
7.	ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y SEGUROS .....	32
7.1.	Almacenamiento .....	32
7.2.	Transporte .....	32
7.3.	Seguros de transporte.....	33
7.4.	Importación de materiales y equipos .....	33
8.	ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS .....	34
8.1.	Dirección de las obras y representación del adjudicatario .....	34
8.2.	Terrenos necesarios para la ejecución de las obras.....	35
8.3.	Instalaciones auxiliares.....	36
8.4.	Relaciones entre la propiedad y los diversos contratistas .....	37

8.5.	Subcontratación de las obras.....	38
8.6.	Personal de montaje.....	39
8.7.	Seguros de asistencia médica.....	39
9.	CONDICIONES DE PAGO. LEGISLACIÓN.....	40
9.1.	Definición de los precios .....	40
9.2.	Prestaciones accesorias y trabajos por administración .....	41
9.3.	Abono de trabajos no previstos.....	42
9.4.	Revisión de los precios .....	42
9.5.	Condiciones de pago.....	44
9.6.	Penalidades .....	44
9.7.	Indemnizaciones a favor del adjudicatario .....	45
9.8.	Cese o aplazamiento de los trabajos. Recisión de contrato.....	45
9.9.	Legislación.....	47

## 1. DISPOSICIONES GENERALES

### 1.1. OBJETIVO

El Pliego de Condiciones recoge las exigencias de carácter técnico y legal que deben regir la ejecución del proyecto. Se trata de un conjunto normas, especificaciones, preinscripciones e instrucciones, que junto con los demás documentos del presente proyecto define todos los requisitos a cumplir por las obras de la Planta de Producción de Isooctano.

El presente documento incluye una descripción general de las obras junto con las condiciones que deben cumplir los materiales y las instrucciones para la ejecución, medición y abono de las unidades de dichas obras. Constituye por lo tanto la norma y guía a seguir en todo momento por el Adjudicatario.

### 1.2. CONCURSO

Constituyen objeto de concurso restringido las empresas que la Propiedad considere oportuno invitar, el suministro de los equipos, los materiales y los servicios definidos en este Pliego y documentación complementaria.

El propietario de este proyecto se reserva el derecho a introducir modificaciones de detalle o de exigir la prestación de servicios o suministros suplementarios que el Adjudicatario pueda prestar o realizar. El Adjudicatario podrá proponer modificaciones de las especificaciones del suministro, debiendo hacerlo siempre que, por efecto de utilización de patentes o por otras razones, lo considere aconsejable desde el punto de vista técnico y económico.

El Adjudicatario debe facilitar todos los datos e información que estime indispensables para conseguir plenamente los fines del contrato, pues las especificaciones y descripciones del suministro no son limitadas. Además, dará preferencia, en igualdad de condiciones, a materiales y servicios de origen español.

Los Concursantes deberán presentar lo siguiente:

- Cuadro de Precios Unitarios, reseñando todos los que figuren en el Cuadro de Precios de Anteproyecto.
- Presupuestos Parcial y General correspondientes.
- Descripción de la organización en la que figure la relación del personal técnico que se ocupará de la realización de las obras.
- Lista detallada de la maquinaria y medios a utilizar.
- Fechas límites en que se debe recibir de la Propiedad la información complementaria necesaria para poder desarrollar sus trabajos de acuerdo con el plan de obra previsto.

El Cuadro de Precios presentado se considerará como documento fundamental para la adjudicación del concurso. Los errores que pudieran haberse cometido en los presupuestos serán subsanados por la Propiedad o su representante legal, al estudiar las ofertas a partir de los datos del citado cuadro y de las mediciones del Anteproyecto. Los precios unitarios se considerarán actualizados hasta la fecha de presentación de la oferta que se indica en la carta de invitación y deberá estar incluida la parte proporcional de los gastos generales, instalaciones, beneficios, etc., y todos los posibles gastos directos o indirectos relacionados con ellos. Los planos que constituyen el Proyecto sirven única y exclusivamente para la redacción de las proposiciones de los Concursantes.

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo de validez indicado en la carta de invitación o que no conste de todos los documentos que señalen en los apartados del presente Pliego. El resultado del concurso será notificado por la Propiedad a los diferentes Concursantes. En caso de que el Concursante no recibiese la notificación correspondiente en el plazo señalado en la carta de invitación está en derecho de notificar a la Propiedad su renuncia al concurso.

La Propiedad pasará notificación del resultado del concurso a los diferentes Concursantes. Si el Concursante no recibiese esta comunicación en el plazo también señalado en la carta de invitación, puede notificar a la Propiedad su renuncia al concurso.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario la concesión de los trabajos, cuya fecha de inicio figura en el programa de trabajo. Durante el período comprendido entre la adjudicación y la fecha de iniciación de los trabajos, se formalizará entre la Propiedad y el adjudicatario, el contrato que estipula el artículo correspondiente de este Pliego.

### **1.3. Contrato. Responsabilidad del adjudicatario**

El Propietario del presente proyecto es la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Santiago de Compostela, que ha encomendado su realización a Samuel Fragua Somoza.

Las instalaciones a realizar son las descritas en la memoria y deberán ser ejecutadas de acuerdo con los planos adjuntos en el *Documento II: Planos*.

El Adjudicatario estará obligado a cumplir la reglamentación del trabajo correspondiente, la contratación del seguro obligatorio y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes en el momento de la ejecución de las obras. En particular, deberá cumplir siempre, a no ser que en el presente Pliego de Condiciones se indique lo contrario, lo dispuesto en la norma UNE 24042: “Contrataciones de obras. Condiciones generales”. El Adjudicatario se ocupará de todos los gastos fiscales relativos a la formalización del Contrato. Cualquiera de las dos partes que intervienen en el Contrato puede solicitar la elevación a escritura pública del convenio de adjudicación, siendo los gastos que origine dicha elevación a cargo de la parte cuya petición se realice.

El Adjudicatario es el único responsable por la totalidad del suministro y servicios que se indican en el contrato, en estricto cumplimiento de las disposiciones contractuales de las buenas normas de la técnica. Serán por lo tanto de su cuenta las modificaciones, reparaciones y sustituciones indispensables al exacto cumplimiento del contrato, así como las indemnizaciones justificadas por perjuicios causados por deficiencias, errores o atrasos laborales.

Si es necesario, la Propiedad podrá suspender los pagos al Adjudicatario y pedir indemnizaciones de acuerdo con lo establecido en el contrato sin perjuicio de la aplicación de penalizaciones o de rescisión, conforme a lo establecido en el Artículo correspondiente de este Pliego.

Las relaciones con el Adjudicatario serán establecidas a través de personas o entidades designada por la Propiedad. La Propiedad podrá hacerse representar por consultores u otras entidades que pueda elegir para colaborar en los estudios, fabricación, montaje y ensayos. El representante del Adjudicatario será designado por éste de acuerdo con la Propiedad. Durante el período de montaje esta persona estará presente y será el responsable del equipo de montaje.

El contrato con el que se especifican los plazos de ejecución y formas de cobro, se extenderá entre el propietario y el instalador.

El presente Pliego de Condiciones es de obligado cumplimiento tanto por parte de la Dirección Técnica como del Instalador, así como de la Propiedad, sin que ninguno de ellos pueda alegar desconocimiento del mismo. En caso de contradicción entre dicho contrato y el presente Pliego de Condiciones se dará prioridad al Pliego de Condiciones.

La dirección facultativa de las obras podrá rescindir, total o parcialmente, el contrato de obras o suministros cuando su ejecución no sea la adecuada, cuando los suministros no cumplan el plazo o el contratista las condiciones legales de trabajo de sus empleados y obreros.

En caso de que el instalador se negase a seguir las instrucciones de la Dirección Técnica, será apercibido y en caso de no modificar su actitud, el Director Técnico levantará nueva acta quedando el contrato entre el propietario y el instalador rescindido. Este último no tendrá derecho a ningún tipo de indemnización.

Antes de la rescisión se fijará y comunicará al contratista el plazo de que dispone para subsanar los efectos o faltas observadas, o para restablecer el cumplimiento de sus obligaciones, debiendo acusar recibo por escrito a la Dirección facultativa de la recepción de dicha notificación.

En caso de rescisión de contrato, las cantidades que el instalador tiene derecho a percibir por parte de la obra realizada, la determinará el criterio de la Dirección Técnica.



El Adjudicatario está representado en todas las reuniones convocadas con un plazo no inferior a ocho días por la Propiedad, en la obra o en cualquier otro lugar que se indique, mediante la presencia de técnicos especializados en las materias objetivo de dichas reuniones.

La lista de proveedores principales y empresas colaboradoras del Adjudicatario, establecida en acuerdo común entre éste y la Propiedad, no podrá ser modificada sin la aprobación previamente escrita por la Propiedad. La aprobación por parte de la Propiedad de la lista de proveedores y empresas colaboradoras del Adjudicatario no disidirá en ningún caso la responsabilidad de éste.

El Adjudicatario no podrá ceder ni traspasar a terceros ninguna de sus obligaciones o derechos, ni utilizar en la ejecución de los trabajos otras empresas o sociedades que las que figuran en el contrato como aceptadas por la Propiedad. En todos los casos, el Adjudicatario es plenamente responsable del contrato ante la Propiedad, del personal obrero y de terceros. Si el Adjudicatario, sin previa autorización escrita por parte de la Propiedad, cediese o traspasase a terceros cualquiera de sus obligaciones o derechos, derivados del contrato, o emplease la ejecución de las obras otra empresa o sociedad que no estuviese previamente aceptada por la Propiedad, ésta aplicará las sanciones que crea oportunas, llegando, si fuese necesario, a la rescisión del contrato, en cuyo supuesto sería de aplicación todo lo incluido bajo el epígrafe “Cese o aplazamiento de los trabajos. Recesión del contrato” englobado dentro del capítulo 9 del presente Pliego de condiciones.

La Propiedad puede indicar en la carta de invitación al concurso la fianza inicial y retenciones de garantía que se descontarán de las certificaciones. Estas cantidades retenidas por la Propiedad responden del cumplimiento de las obligaciones del Adjudicatario y quedarán a beneficio de la Propiedad en los casos de rescisión o abandono del trabajo por causas imputables al Adjudicatario.

El Adjudicatario responde, además del cumplimiento de sus obligaciones, de todos los medios auxiliares, maquinaria y materiales que tenga depositados en la obra, los cuales no podrán ser retirados de la misma sin previa autorización escrita de la Propiedad.

El Adjudicatario es el único responsable de la correcta ejecución técnica de las obras, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio a que pudiera resultar, ni por las falsas operaciones que cometa durante la construcción de las mismas, ni por las modificaciones que la Dirección Facultativa tenga a bien marcar, siendo dichas operaciones de su cuenta y riesgo, independientemente de las inspecciones ejercidas por la Dirección Técnica.

## **1.4. PROGRAMA**

El programa general de los trabajos (estudios, aprovisionamiento, fabricación, transporte, montaje y ensayos) a presentar con la propuesta deberá respetar las pautas indicadas en estas normas e información complementaria facilitada.

Este programa deberá ser desarrollado, según las condiciones especificadas en estas normas, en otro de detalle, en el que se indicarán las fechas de conclusión de cada uno de los trabajos señalados en el trabajo inicial, así como las fechas intermedias cuyo incumplimiento dé lugar a la aplicación de las penalidades. El plazo de presentación de este programa detallado será de treinta días a partir de la fecha de adjudicación.

El programa referido en el párrafo anterior deberá indicar las fechas límite en que se consideren indispensables los suministros para asegurar la continuidad de los trabajos, así como los datos referentes a la posibilidad del inicio o continuación de los trabajos de terceros.

La determinación del orden de las obras será la facultad potestativa del Adjudicatario, salvo en aquellos casos en los que por cualquier circunstancia de orden técnico del Ingeniero Director estime conveniente su modificación. Todos los trabajos se ejecutarán en estricto seguimiento del Proyecto que ha servido de base, de las modificaciones que sobre el mismo hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que entregue el Ingeniero Director al Adjudicatario, siempre que se encaje dentro de la cifra a que asciende los presupuestos aprobados.

El programa contractual de los trabajos no podrá ser alterado sin la conformidad expresa de la Propiedad y siempre que esta última proponga una alteración de dicho programa, el Adjudicatario se compromete a hacer todo lo posible para dar cumplimiento al deseo de la Propiedad.

El adjudicatario dará comienzo a las obras en el plazo marcado, desarrollándolas en la forma necesaria para que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido en el contrato realizado con la Propiedad. Obligatoriamente y por escrito, el Adjudicatario deberá dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos antes de veinticuatro horas desde su iniciación.

Si los trabajos se desarrollan con retraso respecto al programa aprobado, serán aplicadas las penalizaciones correspondientes. Si dicha demora fuese producida por motivos no imputables al Adjudicatario, éste puede solicitar a la Propiedad una prórroga del plazo de ejecución de las obras, postergación que será igual al tiempo perdido, a no ser que el Adjudicatario solicitase que fuese menor.

La petición de prórroga por parte del Adjudicatario deberá tener lugar en el plazo mínimo de un mes desde el día que se produzca la causa originaria del retraso, alegando las razones por las que estime no serle imputable la demora y señalando el tiempo probable de su duración al efecto de que la Propiedad pueda oportunamente y siempre antes de la terminación del plazo del contrato, resolver la prórroga del mismo y sin perjuicio de que una vez desaparecida la causa, se reajuste el plazo al tiempo realmente perdido.

En el caso de que el Adjudicatario no solicitase la prórroga, se entenderá que renuncia a su derecho y que, a efectos de la aplicación del contrato, los retrasos que se produzcan en relación con lo establecido en el programa le son imputables a él.

El Adjudicatario queda obligado, desde que toma a su cargo la organización de los trabajos contratados, al cumplimiento de la legislación vigente en lo relativo a los accidentes de trabajo.

### **1.5. ESTUDIOS. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA**

El Adjudicatario reconoce haber recibido de la Propiedad todos los datos y documentos de base necesarios para los estudios y proyectos.

Para una buena ejecución del suministro, el Adjudicatario debe pedir a la Propiedad, todas las aclaraciones complementarias y de detalle que considere necesarias. Los documentos contractuales y todos aquellos que la Propiedad entregue durante la ejecución del contrato, deben ser cuidadosamente revisados por el Adjudicatario. En caso de errores u omisiones, el Adjudicatario deberá proponer las modificaciones que estime convenientes.

El Adjudicatario proporcionará, en la fecha establecida en el calendario general de ejecución de obras, con los datos y condiciones indicados en las normas, y demás documentos que le encargue la Propiedad (memoria, cálculos justificativos, características de los materiales, especificaciones relativas a los mismos, planos y demás documentación técnica complementaria a la incluida en la oferta presentada) de forma que se compromete así la definición del equipo y servicios contratados. Ello permitirá a la propiedad:

- Tener pleno conocimiento del estado tensional al que estará sometido el equipo en las distintas hipótesis de cálculo, garantías que ofrecen los materiales, las soldaduras y demás documentos incluidos en el suministro, así como de su funcionamiento, conservación y explotación.
- Efectuar la inspección de su realización.
- Estudiar y proyectar todos los trabajos afines que no incumben al Adjudicatario.

Todos los documentos facilitados por el Adjudicatario, así como leyendas y acotaciones, deberán estar escritos en español o gallego. La Propiedad podría aceptar documentos escritos en francés o inglés, reservándose el derecho a exigir traducciones a español o gallego, que serán consideradas como los únicos documentos válidos.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario, en el plazo que señala en el programa general de trabajos, la aprobación o reparos a los documentos que conforman la total definición del equipo y servicios contratados.

Los documentos sobre los que la Propiedad sí hubiese efectuado observaciones antes de la fecha concertada, serán revisados por el Adjudicatario y nuevamente sometidos a la aprobación de la Propiedad dentro del plazo establecido en el calendario general de las obras. Si la Propiedad no pudiese admitirlos, convocaría una reunión para su discusión y resolución en el plazo de ocho días.

El Adjudicatario remitirá a la Propiedad, por quintuplicado y en el plazo de quince días, desde su aprobación, los ejemplares indicados en estas normas de cada uno de los documentos aceptados y los documentos aprobados no podrán ser modificados sin previa autorización escrita de la Propiedad. La aprobación por parte de la Propiedad de dibujos, notas de cálculo u otros documentos no limita la responsabilidad del Adjudicatario, sino que ésta se mantiene total.

Todos los documentos y planos recibidos por la Propiedad como parte del suministro, serán tratados por ésta a todos los efectos como de su propiedad. De igual modo, también serán tratados así, la documentación y dibujos enviados por la Propiedad al Adjudicatario para la ejecución del suministro, no pudiendo este último comunicar a terceros o publicar sus recopilaciones sin previa autorización escrita de la Propiedad. El Adjudicatario entregará al menos tres copias de los Manuales de Instrucciones de los equipos suministrados, cuyo contenido mínimo debe ser el siguiente:

- Descripción del equipo.
- Características nominales de diseño y prueba.
- Composición y características de los materiales.
- Principios de operación.
- Instrucciones de la operación.
- Variaciones máximas, limitaciones y funcionamiento en condiciones distintas de las nominales.
- Lista de componentes o despieces con números de identificación, dibujos de referencia, nombres y características de la pieza.
- Instrucciones de recepción, almacenamiento, manejo, desembalaje del equipo, montaje, desmontaje, tolerancias y mantenimiento.
- Pruebas y controles periódicos.
- Lista de repuestos.

## 1.6. PLIEGO, INSTRUCCIONES Y NORMAS APLICADAS

Las prescripciones de las instrucciones y normas que se muestran a continuación serán de aplicación con carácter general, y en todo aquello que no contradiga o modifique el alcance de las indicaciones que se incluyen en el presente Pliego de Condiciones, para los materiales y la ejecución de las obras.

- Artículo 1588 y siguientes del Código Civil, en los casos en que sea procedente su aplicación.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (R.D. 2413/1973) (B.O.E. 18 de septiembre de 2002)
- Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado, aprobado por Decreto de 28 de junio de 1991.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos, aprobado por Decreto 823/1993.
- Instrucción para la fabricación y suministro de hormigón preparado, aprobado por Orden Ministerial de 5 de mayo de 1972.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías y abastecimiento de agua (B.O.E. 20/02/74).
- Reglamento de Almacenamiento de Producto Químicos, R.D. 379/2001.
- Normas Sismo-resistentes, aprobadas por el Decreto 3209/1974 (B.O.E 21/11/74).
- R.D. 204/1994 de 16 de junio sobre Seguridad Industrial.
- Normas Básicas de la Edificación (NBE) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- Todos los preceptos sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo contengan las Ordenanzas Laborales, Reglamentos de Trabajo, Convenios Colectivos y Reglamentos de Régimen interior en vigor.

El programa general de los trabajos a presentar por la propuesta deberá respetar las normas anteriormente consideradas y desarrollarse según las mismas. El plazo de presentación de dicho programa será de treinta días a partir de la fecha de adjudicación. En el mismo se especificarán las fechas de conclusión de cada uno de los trabajos señalados, así como la fecha intermedia cuyo cumplimiento aplique las penalidades.

## 1.7. SEGURIDAD Y ACCIDENTES EN EL TRABAJO

El contratista está obligado a redactar un Plan de Seguridad que será remitido a la Propiedad con un informe favorable del coordinador en materia de seguridad y salud para su aprobación. Dicho plan deberá adaptarse al Estudio de Seguridad y Salud.

El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la normativa referente al estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo vigente, y en especial a todo lo que se contempla en el Real Decreto 1627/1997, del 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

La empresa constructora dispondrá de un Servicio Médico de Empresa propio o mancomunado.

Todos los aparatos, maquinaria, herramientas y medios auxiliares que emplee el Adjudicatario en la ejecución de los trabajos deberán reunir las máximas condiciones de seguridad y resistencia y cumplir todas las normas oficiales dictadas al efecto.

El personal del Adjudicatario está obligado a utilizar todos los dispositivos y medios de protección personales necesarios para eliminar o reducir los riesgos profesionales, pudiendo el Ingeniero suspender los trabajos si estima que el personal está expuesto a peligros no corregibles.

El Adjudicatario dispone libremente de montar los andamiajes que estime convenientes, siempre contemplando las normas de seguridad para el personal que establecen las Leyes o Reglamentos de Seguridad e Higiene o Accidentes de Trabajo.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario en cualquier momento, antes o después del comienzo de los trabajos, que presente los documentos que acrediten el haber formalizado los regímenes de la Seguridad Social en la forma legalmente establecida. Además, podrá exigirle al Adjudicatario, ordenándolo por escrito, el cese de la obra de cualquier trabajador que, por imprudencia temeraria, pudiese provocar accidentes que hiciesen peligrar su propia integridad física o de la de alguno de los demás empleados u obreros. Toda la responsabilidad en los accidentes que pudieran ocurrir por el empleo de materiales defectuosos, por imprudencias o por el incumplimiento de lo anteriormente mencionado, recaerá exclusivamente sobre el Adjudicatario. Correrán también por cuenta exclusiva de éste las multas en las que incurra contravenir las disposiciones oficiales, así como los daños y desperfectos ocasionados a terceros en su persona, bienes o haciendas.

## 2. CALIDAD DE LOS MATERIALES

### 2.1. MATERIALES EN GENERAL

Todos los materiales suministrados por el Adjudicatario, deben reunir las condiciones de calidad exigibles en la buena práctica de la construcción.

La aceptación por la Propiedad de una marca o fábrica, no exime al Adjudicatario del cumplimiento de estas prescripciones y en el caso en que no se señale en este pliego cuales son las normas aplicables a un material determinado, éste deberá cumplir las normas de tipo europeo o rango similar a las DIN, NF ó UNE, correspondientes al tipo de material de que se trate y al uso para el que se vaya a utilizar.

Deben presentarse previamente muestras para su aprobación y reconocimiento por parte del Ingeniero Director o en su defecto por el Subdirector de la Obra, sin cuya expresa aprobación no se podrá proceder a la colocación o empleo, pudiéndose obligar la retirada del material no aprobado y colocado en obra por parte del Adjudicatario de no haberse procedido de la forma establecida. Además, los materiales rechazados deberán ser inmediatamente retirados de la obra por cuenta y riesgo del Adjudicatario, o depositados en los lugares indicados por la Dirección de la Obra.

Cuando los materiales no fuesen de la calidad requerida en este Pliego de Condiciones, o no tuviesen la preparación en éste exigida, o cuando a falta de prescripciones formales se reconociese o demostrase que no son adecuados para su función, la Propiedad dará orden al Adjudicatario para que a su costo los reemplace por otros que satisfagan o cumplan el objetivo al que se destinen.

El Adjudicatario, a su costo, transportará y colocará los materiales no utilizables, agrupándolos ordenadamente y en el lugar de la obra que se designe, para evitar así que supongan un perjuicio en la marcha de los trabajos. Los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra se retirarán de ésta o se llevarán a un vertedero.

Si a pesar de todo fuesen advertidas faltas de un material aprobado y colocado, dicho material podría ser retirado a cuenta del Adjudicatario.

### 2.2. ACEROS

El Adjudicatario indicará las características mecánicas de los aceros empleados con arreglo a los siguientes elementos:

- Piezas de acero moldeado.
- Estructuras de acero laminado

### 2.3. OTROS MATERIALES

Para el resto de los materiales empleados en la fabricación del suministro, se indicarán las características mecánicas, así como la composición química de los mismos.



### 3. NORMAS DE CÁLCULO

Para construcciones hidráulicas de acero se aplicarán las normas DIN u otras de rango similares como bases de cálculo.

El Adjudicatario deberá indicar las tensiones de trabajo, simples y compuestas a las que quedan sometidos los diferentes materiales que constituyen las estructuras. Asimismo, se señalarán las tensiones máximas de trabajo o tensiones base para el cálculo:

- Tensión admisible de tracción o compresión, previa comprobación del pandeo.
- Tensiones admisibles a esfuerzos cortantes.
- Tensión de comparación.

La tensión base o máxima de trabajo es un límite absoluto que no podrá ser sobrepasado ni siquiera en el caso de piezas sometidas a choques, esfuerzos dinámicos, fatigas locales o alternadas, vibración y oxidación. Se indicarán, asimismo, las cargas máximas transmitidas al hormigón por las piezas fijas, así como las correspondientes a los órganos de maniobra.

Los esfuerzos de compresión en el hormigón se ajustarán a lo especificado en las normas DIN, y nunca deberán superar la carga de rotura.

Las conducciones blindadas y los revestimientos se dimensionarán para los estados de carga más desfavorables, sin tener en cuenta la contribución del hormigón que los engloba.

El Adjudicatario facilitará los cálculos completos de los elementos importantes del suministro e indicará los coeficientes de seguridad de elementos tales como cilindros, órganos mecánicos de cadenas, cables, etc.

## 4. DISPOSICIONES GENERALES DE LAS OBRAS

### 4.1. REPLANTEO DE LAS OBRAS

Antes del comienzo de las obras, la Dirección Facultativa de las mismas, señalará la situación y altura de los puntos principales.

El Contratista o su representante, bajo las órdenes del Director de Obra, realizará el replanteo general del trazado de cables y tuberías marcando las alineaciones con los puntos necesarios para que, con el auxilio de los planos pueda el contratista ejecutar debidamente las obras.

El replanteo de las instalaciones deberá realizarse en presencia del Director de las mismas, a quien el Instalador podrá exigir el levantamiento del acta correspondiente, siendo el Instalador, responsable de las circunstancias que pudieran derivarse del incumplimiento de las mismas.

Será obligación del contratista la custodia y reposición de las señales que se establezcan en el replanteo. Para la realización del replanteo el contratista deberá aportar todo el material y personal necesario para la ejecución de esta operación.

Las referencias principales (puntos en los ejes, curvas, cotas absolutas de las soleras en los cambios de rasante) son reflejadas en un croquis que estará en poder del contratista, para que éste pueda comprobar a diario la marcha de los trabajos, debiendo estar siempre dicho croquis a disposición de la Dirección Facultativa.

### 4.2. PLAZO DE EJECUCIÓN

Los plazos de ejecución serán de obligado cumplimiento e improrrogables. Tanto los totales como los parciales, señalados en el contrato, empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo de las obras o desde la notificación por parte de la Propiedad de una autorización para el comienzo de éstas.

En caso de que las modificaciones solicitadas por el Ingeniero Director y aprobadas por la Propiedad influyan en los plazos señalados por el contrato, estos podrán ser objeto de aplazamiento.

Si por causas ajenas al Adjudicatario, no fuese posible comenzar los trabajos en la fecha prevista o tuviesen que ser suspendidos una vez iniciados, el Ingeniero Director concederá una prórroga cuya duración será la estrictamente necesaria.

### **4.3. MANO DE OBRA**

Es responsabilidad del Adjudicatario el reclutamiento de todo el personal especializado, no especializado y auxiliar para la dirección y ejecución del montaje, así como todos los suplidos y gastos de ese personal.

El Adjudicatario está obligado a dedicar a las obras el personal técnico a que se comprometió en la licitación. Los operarios serán de aptitud reconocida y experimentados en sus respectivos oficios. El número de trabajadores de cada profesión deberá ser siempre proporcionado a la cantidad de obra a ejecutar, teniendo en cuenta los plazos fijados. El Adjudicatario deberá remitir a la Propiedad, siempre que lo solicite, una relación del personal presente en la obra, clasificado por categoría profesional.

El personal deberá en todo momento acatar las órdenes dictadas por la Dirección de la Obra. En caso de faltas de obediencia, respeto o actos que comprometan o perturben, a juicio de la misma, la marcha de los trabajos, la Dirección de la obra podrá prohibir la permanencia en la obra. El Adjudicatario podrá recurrir si entendiéndose que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

Independientemente de la nacionalidad del Adjudicatario, el reclutamiento del personal deberá cumplir las leyes en vigor. Si el Adjudicatario emplea en obra personal extranjero, será de cuenta y cargo la obtención de las condiciones necesarias para que pueda trabajar en España. Todos los trabajadores, independientemente de su nacionalidad, acatarán las leyes laborales vigentes en cuanto a horarios, seguros sociales, etc., además de aquéllas de carácter general que estén vigentes para el personal de la obra.

La totalidad del personal empleado por el Adjudicatario y Subadjudicatario en la ejecución de las obras deberá estar debidamente afiliado al régimen general de la Seguridad Social, estando obligado a mantener en la oficina de obra los justificantes correspondientes, TC1 y TC2; que justifiquen la situación. Además, el Adjudicatario está obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley sobre Contrato de Trabajo y en las Reglamentaciones de Trabajo vigentes o que se dicten durante la realización de las obras.

El Adjudicatario habilitará en la obra una oficina en la que tendrá siempre una copia de todos los documentos del Proyecto que le hayan sido facilitados por el Ingeniero Director, así como los restantes documentos, equipos y materiales que se estipulen.

El Adjudicatario podrá sacar a sus expensas copias de los documentos del Proyecto de Contrata, cuyos originales le serán facilitados por el Ingeniero Director, el cual autorizará con su firma las copias, si el Adjudicatario así los deseara.

El Adjudicatario, por sí mismo o por medio de sus facultativos, representantes o encargado, estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Ingeniero Director, o a las personas que éste delegue, en las visitas que hagan a la obra, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios, y facilitándole los datos necesarios y los medios para la ejecución y aprobación de mediciones, comprobaciones y liquidaciones.

El Adjudicatario y su delegado vigilarán los trabajos de colocación de los andamios y demás medios auxiliares. Comprobará que los materiales llevan la garantía de fabricación, siendo el Adjudicatario el responsable de los accidentes que ocurran por incumplimiento de esta disposición o por no tomar las debidas precauciones.

Antes del inicio de las obras se procederá al replanteo general de las mismas, justamente con el Director y Subdirector de Obra, realizándose la correspondiente Acta de Replanteo, que quedará plasmado en el libro de órdenes, considerándose dicha fecha como el inicio de la obra.

Todas las operaciones y los medios auxiliares necesarios para los replanteos, serán de la exclusiva cuenta del Adjudicatario, pudiendo ser vigilados y anulados por la Dirección Técnica.

El Adjudicatario no podrá reclamar ni percibir indemnización alguna por sustracción, pérdida, avería u otros perjuicios acaecidos durante la realización de la obra. Del mismo modo, será responsable de las pérdidas del material que se entregase a su custodia, descontándosele el importe de las cantidades a percibir. Igualmente responderá ante cualquier daño causado en las propiedades colindantes, estando obligado a repararlas y dejarlas en su estado original.

#### **4.4. REFORMAS EN EL PROYECTO**

No se considerarán mejoras y variaciones del Proyecto más que aquellas que hayan sido ordenadas expresamente por escrito por el Ingeniero Director.

Si antes del inicio de las obras o en el transcurso de éstas la Propiedad, de acuerdo con el Ingeniero Director, resolviese realizar parte de las obras que comprende la contrata, o acordase introducir en el Proyecto modificaciones que supongan aumento, reducción o supresión de las cantidades especificadas en el presupuesto, serán obligatorias para el Adjudicatario estas disposiciones sin que tenga incluso derecho, en caso de suspensión de los trabajos, a indemnización alguna con el pretexto de pretendidos beneficios que hubiera podido obtener en la parte reducida o suprimida.

Si durante el transcurso de las obras el Ingeniero Director estimase conveniente introducir modificaciones en el Proyecto, el Adjudicatario estará obligado a ejecutarlas, siempre y cuando no impliquen una modificación del Pliego de Condiciones. En el caso de darse alguna modificación en el Proyecto, el Adjudicatario tendrá derecho a que se prorrogue, el tiempo que el Ingeniero considere oportuno, el plazo para la terminación de las obras.

#### 4.5. CONTRADICCIONES, OMISIONES O ERRORES EN LOS DOCUMENTOS

Los diversos capítulos del presente Pliego de Condiciones son complementarios entre sí, entendiéndose que las prescripciones que contengan uno de ellos y afecte a otros obligan como si apareciesen todos.

Las contradicciones o dudas entre sus especificaciones se resolverán por la interpretación que razonadamente haga el Ingeniero Director. En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos, tanto por el Ingeniero Director como por el Adjudicatario, deberán reflejarse preceptivamente en el Acta de Replanteo.

#### 4.6. TRABAJOS DEFECTUOSOS O NO AUTORIZADOS

En caso de que el Ingeniero Director o su representante en la obra advierta defectos en los trabajos efectuados, o que los materiales y aparatos empleados no reúnan las condiciones preceptuadas, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas según el contrato, y todo ello a expensas del Adjudicatario. Si éste no considerase justa la decisión y se negase a la demolición y reconstrucción ordenada, se procederá según estos pasos:

- Cuando los materiales o aparatos no reúnan la calidad requerida o no estén perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Adjudicatario para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos, o a falta de éstos, a las órdenes del Ingeniero Director.
- El Ingeniero Director podrá, si las circunstancias o el estado de la obra lo aconsejan, permitir el empleo de aquellos materiales de mayor calidad a la fijada de antemano en caso de que al Adjudicatario no le fuese posible suministrarlos de dicha calidad, descontándosele en el primer caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado, y no teniendo derecho el Adjudicatario a indemnización alguna en el segundo caso.

El Adjudicatario es el único responsable de la ejecución de los trabajos para los que ha sido contratado y de las faltas y defectos que éstos pudiesen tener por su incorrecta ejecución y por la deficiencia de la calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servir de excusa ni le otorgue derecho alguno el que el Ingeniero Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas en las certificaciones y participaciones de la obra.

#### 4.7. SUSPENSIÓN DE LAS OBRAS

Cuando la Propiedad desee suspender la ejecución de las obras, deberá avisar al Adjudicatario con un mes de antelación, teniendo éste último que suspender los trabajos sin derecho a indemnizaciones, siempre que se le abone el importe de la obra ejecutada y el valor de los materiales acumulados a pie de obra. Se hará lo mismo en caso de rescisión justificada.

Si la suspensión de las obras fuese motivada por el Adjudicatario, la Propiedad se reserva el derecho a la rescisión del contrato, abonando al Adjudicatario sólo la obra ejecutada, con pérdidas de la garantía como compensación a la Propiedad por los perjuicios generados, quedando siempre el Adjudicatario obligado a responder por los perjuicios superiores creados por ésta.

En caso de muerte o quiebra del Adjudicatario, quedará rescindida la contrata, a no ser que los herederos o síndicos de la quiebra ofrezcan realizarla bajo las condiciones estipuladas en un primer momento. La Propiedad podrá aceptar o rechazar el ofrecimiento, sin que, en este último caso, aquellos tengan derecho a indemnización alguna. Tanto en los casos de rescisión como en los que legalmente se pudiesen presentar, las herramientas y demás elementos de trabajo que sean de pertenencia del Adjudicatario, tendrá éste la obligación de recogerlos antes de un plazo de ocho días, entendiéndose que los abandona a favor de la obra de no hacerlo así.

Son causas de rescisión de la obra, las siguientes:

- El no ejecutar las obras con arreglo al Proyecto o modificaciones indicadas.
- El empleo deficiente de los materiales o su mala colocación en la obra que obliguen a demoler ésta o a valorarla como defectuosa.
- El que los trabajos no se realicen ajustándose al calendario previsto.
- Incapacidad del personal contratado, tanto técnico como de la obra.
- Quiebra o suspensión de pagos por parte del Adjudicatario.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el pago exceda a seis meses. □
- El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones del proyecto o contrato.
- El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando se indique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- La terminación del plazo de ejecución de los trabajos sin haberse llegado a concluirlos.
- La muerte o incapacitación del Adjudicatario.
- Alteraciones del contrato, de forma que suponga modificaciones del proyecto o de las unidades de obra en un 25 % como mínimo del importe de aquel y en un 50 % de las unidades modificadas.
- La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación.
- Por toda causa de fuerza mayor que obligue a suspender las obras indefinidamente.

Excepto en los últimos cuatro casos, la fianza quedará en beneficio de la Propiedad. En todos ellos la Propiedad se reserva el derecho a continuar las obras.

#### 4.8. SEGUROS Y ASISTENCIA MÉDICA

El Adjudicatario quedará obligado, después de la comprobación del replanteo y antes del comienzo de la obra, a facilitar a la Dirección la documentación que acredite haber suscrito, además de las correspondientes afiliaciones a la Seguridad Social, las pólizas de seguros siguientes:

- Seguro contra daños a terceros que deriven de la ejecución del proyecto.
- Seguro de accidentes de trabajo en la Mutuality Laboral correspondiente.
- Seguro de automóviles para todos aquellos vehículos del Adjudicatario que tenga acceso a la obra.
- Seguro para toda la maquinaria y equipo que el Adjudicatario utilice en el trabajo.
- Seguro de incendios para las obras, en compañías de reconocida solvencia inscritas en el Ministerio de Hacienda en virtud de la Ley de Seguros vigente.

El Adjudicatario no podrá comenzar los trabajos sin justificar previamente ante la Propiedad, tener cubiertos los seguros por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, de acuerdo con la legislación vigente.

Adjudicatario asegurará por sí mismo o por medio de la compañía de seguros adecuada, la prestación de asistencia médica o por enfermedad al personal y es el responsable de las condiciones de seguridad en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre esta materia, las medidas que dicten la inspección de Trabajo y los demás organismos competentes y las normas de seguridad que correspondan a las características de las obras contratadas.

## 5. Ensayos, pruebas y protecciones

### 5.1. ENSAYOS EN TALLER

Las uniones soldadas que lo requieran serán inspeccionadas mediante control radioscópico. Esto se llevará a cabo en presencia de representantes de la Propiedad y del Adjudicatario.

Se ensayarán mecánicamente varias probetas de soldadura realizadas con materiales y operarios que hayan de intervenir en la obra. Para el caso de los tanques de almacenamiento, se inspeccionará el 10% de los cordones de soldadura según la norma ASME sección VIII. En los intercambiadores de calor y en todos los depósitos a presión, se realizarán pruebas de ventosa en todas las uniones soldadas.

Los órganos que contengan aceites a presión, como son los cuerpos de las bombas de aceite y sus correspondientes válvulas, serán sometidos en taller a una presión de ensayo igual a la de servicio aumentada en un 50%. Los esfuerzos durante el ensayo no deberán, en ningún caso, sobrepasar el 40% de la carga de rotura, ni el 80% del límite elástico. Durante dicho ensayo no deberán producirse deformaciones apreciables, ni fugas de filtración alguna.

### 5.2. PRESENTACIÓN EN TALLER

La Propiedad puede exigir la realización en el taller de una presentación de los elementos con la finalidad de prever posibles dificultades que pudiesen presentarse en la obra.

El Adjudicatario indicará claramente en su oferta la repercusión económica que represente la realización de estos trabajos de presentación en taller del suministro contratado.

### 5.3. PROTECCIÓN CONTRA CORROSIÓN

El Adjudicatario deberá proponer la protección con pintura de las diferentes superficies más recomendable, en base a su experiencia, para su aprobación por parte de la Propiedad. Esta deberá responder a las condiciones ambientales de la zona de almacenamiento y naturaleza de los productos manejados y condiciones de funcionamiento.

Dicha protección se aplicará a la superficie de aquellos elementos que estén fabricados mediante materiales oxidables que se encuentren a la intemperie o que puedan estar en contacto con el agua.



El proceso a llevar a cabo para efectuar dicha protección contra la corrosión implicará:

- Limpieza inicial mediante chorro de arena.
- Metalización de zinc, según las normas AENOR A 91-201, con una capa de zinc de 0,12 mm de espesor.
- Tres capas, como mínimo, de pintura.

Las partes del suministro que estén mecanizadas serán desengrasadas y se protegerán con una pintura vinílica incolora de tipo arrancable. El tiempo transcurrido desde el tratamiento de la superficie del metal y la aplicación de la pintura no podrá ser superior a 24 horas.

### 5.3.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Las superficies de los cambiadores de calor serán tratadas según métodos de preparación de superficie para cada sistema de pintura. Las pinturas se aplicarán con pistola mediante sistema de pulverización a presión sin aire cuando se den las condiciones ambientales adecuadas. La protección de las superficies externas de los cambiadores de calor se realizará aplicando varias capas:

- Capa de imprimación de cromato amarillo de 75 micras de espesor de película seca.
- Capa de imprimación de epoxi-cromato de zinc especial de 80 micras de espesor de película seca.
- Capas de esmalte de poliuretano alifático de 35 micras/capa.

Las superficies metálicas serán limpiadas antes de la aplicación de pinturas de acuerdo con las especificaciones de la "National Corrosion Engineers" (NACE) y con los estándares fotográficos del comité de corrosión de la Real Academia de Ciencia Técnica de Suecia (SIS 05.59.00).

Aquellos elementos metálicos complementarios en los que por razones específicas no pueda efectuarse el chorreado, se limpiarán mediante cepillado.

La preparación de superficies de acero al carbono se realizará siguiendo las especificaciones SIS 05.59.00 y PSC-SP. Si no se especifica lo contrario se aplicará un chorreado abrasivo a metal blanco SIS Sa 2½ (perfil de rugosidad 25/40), según la especificación SSPC-SP 10.

Las superficies externas mecanizadas de acero al carbono se protegerán mediante un inhibidor de corrosión eliminable con agua o disolventes. Dicho inhibidor deberá ser aprobado por el Comprador, así como su método de eliminación. En aquellas superficies sobre las que haya que aplicar algún recubrimiento, se tendrá en cuenta la norma VDI 2532.

Las estructuras metálicas y soportes complementarios a los intercambiadores se tratarán con:

- Un chorreado Sa 2½.
- Aplicación de una primera capa de imprimación, de zinc inorgánico, de 75 micras de espesor de película seca.
- Aplicación de una segunda capa de resina epoxi de 80 micras de película seca (ver INTA 164402).
- Aplicación de la pintura de acabado, que consistirá en dos capas esmalte de poliuretano alifático de 35 micras/capa.

### 5.3.2. TUBERÍAS

Todas las tuberías deberán ser tratadas con un chorreado previo Sa 2½ según las normas SIS 05.59.00. El chorreado deberá hacerse preferentemente en taller para evitar inundar la instalación de polvo, salvo causa justificada.

Las pinturas que se aplicarán en las tuberías serán:

- Una capa de pintura de imprimación de 40 micras de espesor de mínimo a clorocaucho.
- Una capa de pintura de fondo de 80 micras de espesor de clorocaucho.
- Dos capas de pintura de acabado de 25 micras por cada capa de clorocaucho puro.

### 5.3.3. COLUMNAS Y DEPÓSITOS A PRESIÓN

Todas las columnas y depósitos a presión de la instalación de acero al carbono deberán ser tratados previamente con un chorreado Sa 2 ½ según norma SIS 05.59.00. Después del tratamiento superficial se aplicarán las siguientes capas de pintura:

- Capa de 25 micras de espesor de pintura epoxi.
- Capa de 25 micras de espesor de pintura de fondo epoxi.
- Dos capas de 40 micras de espesor por capa de pintura epoxi.

### 5.3.4. BOMBAS

Los tratamientos y acabados de superficie de las bombas dependerán de la atmósfera circundante de la instalación. La limpieza de las superficies se realizará siguiendo alguno de los procedimientos que se enumeran a continuación, cuya selección se realizará atendiendo a las recomendaciones del Suministrador.

- Granallado metálico a base de granalla de material no contaminante de la superficie (según norma SIS 05.59.00 Sa 2½).
- Chorreado de arena de sílice proyectado por aire comprimido contra la superficie.
- Decapado químico eliminando la capa de óxido y otras impurezas por inmersión en solución acida.
- La superficie se preparará con una capa de Wash Primer para incrementar adherencia.

Se aplicarán las siguientes capas de pinturas:

- Una capa de 75 micras de espesor de pintura de imprimación epoxi.
- Una capa de 75 micras de espesor de pintura de acabado epoxi.
- Dos capas de 40 micras de esmalte sintético.

## **6. INSPECCIÓN, RECEPCIÓN Y PLAZOS DE GARANTÍA**

### **6.1. INSPECCIÓN FABRIL**

La Propiedad se reserva el derecho a efectuar directamente o por medio de una entidad de su elección, la inspección de la fabricación de los equipos con vistas al cumplimiento de los plazos, a la calidad de los materiales y a las técnicas empleadas, tanto en las fábricas o instalaciones del Adjudicatario, como en las de los suministradores.

El Adjudicatario se ve obligado a asegurar en cualquier momento a los representantes de la Propiedad, debidamente acreditados, el libre acceso a las o instalaciones. Además, debe facilitar la tarea de inspección.

El Adjudicatario deberá informar a la Propiedad, en tiempo hábil, de la fecha fijada para la realización de los ensayos previstos y de la recepción de materias primas, así como de la ejecución de las operaciones más importantes de la fabricación o montaje, de manera que la Propiedad pueda evitar a sus representantes, de estimarlo necesariamente, a presenciar dichos ensayos u operaciones. Independientemente de la presencia o no de los representantes de la Propiedad, el Adjudicatario deberá repartir a ésta, por triplicado, memorias de todos los ensayos realizados.

### **6.2. MONTAJE E INSPECCIÓN**

Se deberá presentar para su aprobación una relación nominal del personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a realizar por cada uno de ellos y acreditando su capacidad técnica para el desarrollo de los mismos.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente, éste se verá obligado a completar su organización según el criterio de la Propiedad. Además, el personal de la inspección de la Propiedad podrá ordenar la suspensión de los trabajos que no estuviesen ejecutados de acuerdo con las condiciones y especificaciones contractuales. La orden de suspensión será confirmada por escrito.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar, en caso de no satisfacerle el desarrollo de las operaciones de montaje, tanto el representante del Adjudicatario como a cualquier otro miembro de su organización en la obra y obligar a éste a sustituirlo en un plazo de treinta días por otro de igual categoría.

Los riesgos relativos a los materiales y equipos en curso de montaje podrán ser cubiertos con compañías de Seguros por el Adjudicatario.

La Propiedad podrá señalar la obligatoriedad del seguro de materiales y equipos en curso de montaje. Además, el citado seguro será ampliado para cubrir los daños que cause a la Propiedad o a terceros, durante y por causa de las operaciones de montaje. Siempre que fuese necesario enviar una pieza o equipo a fábrica como consecuencia de un error o avería, los gastos de transporte, seguros y otros, correrán por cuenta del Adjudicatario. Los gastos, encargos y cualquier formalidad necesaria para la importación temporal o reexportación de herramientas, instrumentos o material a utilizar en la ejecución del suministro, serán a cargo del Adjudicatario.

La Propiedad fiscalizará directamente, a través de sus representantes, los trabajos de montaje. A este efecto, estará asegurado, al personal de inspección de la Propiedad, el libre acceso a cualquier hora a las oficinas de obra, almacenes u otros locales de trabajo del Adjudicatario, que está en la obligación de facilitarle cuantos datos y aclaraciones sean precisos.

### **6.3. CONTROLES**

El Adjudicatario se asegurará mediante unos controles apropiados, de la buena calidad del material entregado.

Los resultados de estos controles serán sometidos a la aprobación de la Propiedad, quien podrá exigir si cree conveniente, la realización de controles complementarios.

#### **6.3.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR**

Antes de iniciar la fabricación de los cambiadores de calor, el Proveedor someterá a la aprobación de la Propiedad los procedimientos de soldadura que ha de utilizar.

Estos deberán estar debidamente respaldados por sus certificados correspondientes de calificación, los cuales serán emitidos por una Entidad Colaboradora de la Administración, así como los certificados de homologación de los soldadores que han de participar en la fabricación.

Se efectuará un examen visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte. Además, se podrá exigir la realización de pruebas o la presentación de documentos acreditativos según las normas correspondientes.

### **6.3.2. TUBERÍAS**

Las tuberías se deberán manipular sin movimientos bruscos y sin arrastre de material por el terreno. Los controles efectuados son una inspección visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte, la recopilación de copias de solicitud y aceptación del suministro del material por el Adjudicatario y el Proveedor, respectivamente, con albarán de recepción, y se incluirá, además, el Certificado de Fabricación y Pruebas de los lotes suministrados. Además, se efectuará una identificación de las tuberías con grabado longitudinal de la designación comercial, material, diámetro, espesor, presión de trabajo, normas y año de fabricación.

### **6.3.3. DEPÓSITOS A PRESIÓN Y COLUMNAS**

Se realizará el subministro en unidades, según la capacidad, perfectamente terminado, sin defectos superficiales de fabricación o transporte. Se debe recompilar la copia de solicitud y aceptación del subministro del material por el Adjudicatario y el Proveedor, respectivamente, con albarán de recepción.

Se incluirá el Certificado de Fabricación y Pruebas de los lotes suministrados, así como el Certificado de Homologación y Timbrado MINER. Se identificarán los depósitos con placa situada al lado de la boca en la que figura la designación comercial, número de registro y fabricación, presión de prueba, presión de timbre, superficie exterior, capacidad y fecha de las pruebas. Se someterá a examen visual de aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

### **6.3.4. BOMBAS**

En cuanto a las bombas se deberá comprobar que la instalación está completa y que la lubricación ha sido efectuada de modo correcto. Además, es necesario verificar que el motor y las bombas están adecuadamente ordenados, así como comprobar que todos los componentes del sistema de limpieza están correctamente instalados y limpios.

### **6.3.5. PRUEBA HIDRÁULICA EN TALLER**

La Propiedad podrá exigir la realización de una prueba hidráulica en taller. El Adjudicatario deberá proveerse de fondos de cierre para poder realizarlos. La presión de prueba que se determinará en cada caso.

Si las pruebas revelasen defectos inadmisibles, tales como fugas y deformaciones locales, el Adjudicatario someterá a la aprobación de la Propiedad el procedimiento de reparación y una vez reparada la pieza se repetirá la prueba hidráulica.

#### 6.4. ACTA DE FIN DE MONTAJE

Cuando el Adjudicatario considere que los equipos están en condiciones óptimas para entrar en servicio, lo comunicará por escrito a la Propiedad, y se procederá a una revisión general conjunta del montaje, levantándose, si procede, un acta de final de montaje, firmada por representantes cualificados de ambas partes.

#### 6.5. AJUSTES, ENSAYOS Y SERVICIO EXPERIMENTAL

Finalizado el montaje, serán efectuados los ajustes, ensayos y puestas en servicio experimentales de acuerdo con las condiciones establecidas.

Salvo que se establezca otro acuerdo, la transferencia del equipo y materiales objeto de suministro tendrá lugar en la fecha de su entrada en servicio industrial.

La cesión de posibles equipos importados por la Propiedad se hará con la entrega del conocimiento de embarque, carta de porte o documentación similar, si bien el riesgo y la garantía serán por cuenta del Adjudicatario hasta la entrega de los equipos en servicio industrial.

#### 6.6. RECEPCIÓN PROVISIONAL

Finalizado el servicio experimental y simultáneamente al comienzo del servicio industrial, será levantada, con anterioridad a la realización de los ensayos de recepción correspondientes, un Acta de Recepción Provisional firmada por representantes cualificados tanto de la Propiedad como del Adjudicatario. Si por motivos no imputables al Adjudicatario, los ensayos de recepción no pudiesen ser efectuados, la recepción provisional será considerada como realizada 120 días después de la fecha en que las pruebas debieron haber comenzado. Sin embargo, el Adjudicatario está obligado a realizar dichos ensayos antes de la fecha de recepción definitiva.

La Dirección Técnica levantará por triplicado, un Acta de Recepción de las Obras, en la que se harán constar las posibles deficiencias en los trabajos, así como el plazo para subsanar éstas. Si las obras se encuentran en condiciones óptimas y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones marcadas, se darán por recibidas, comenzando a contar en dicha fecha el plazo de garantía establecido en el contrato, que será como mínimo de tres meses.

En el caso de no hallarse la obra en el estado de ser recibida, así se hará constar en Acta, otorgándose además al Adjudicatario y/o Proveedor en la misma, las instrucciones precisas y detalladas para remediar los defectos observados y fijándose un plazo para subsanar éstos. Los trabajos de reparación corren por cuenta del Adjudicatario, de forma que de no cumplirse las prescripciones el contrato podrá considerarse como rescindido, con la pérdida de la fianza.

## 6.7. PERÍODO DE GARANTÍA

La fecha del Acta de Recepción Provisional será el comienzo del período de garantía. El Adjudicatario podrá mantener en la obra a todo o parte de su personal especializado, si bien posibilitará la presencia de éste siempre que la Propiedad lo exija o en caso de anomalías de funcionamiento o averías.

La duración del período de garantía será la acordada entre la Propiedad y el Adjudicatario a la hora de la formulación del contrato y comenzará a contar a partir de la fecha de firma del Acta de Recepción Provisional. Durante el plazo de garantía, el Adjudicatario reemplazará cualquier pieza o equipo defectuoso, debido a una mala concepción, defecto o calidad inadecuada de las materias primas empleadas, defecto de fabricación o error de montaje. Todas estas sustituciones y posibles trabajos de construcción civil deberán ser realizados en el menor tiempo posible, corriendo todos los gastos por cuenta del Adjudicatario. Durante el período de garantía cualquier equipo, componente o pieza a sustituir por otro de la misma calidad, tendrá a partir de la fecha de entrada en servicio un plazo de garantía igual al del equipo o pieza al que sustituya.

Si como consecuencia de defectos o accidentes imputables al Adjudicatario, el equipo no pudiese funcionar en parte o en todo el período de garantía, el tiempo en que el equipo no pueda operar será añadido al plazo de garantía.

## 6.8. RECEPCIÓN DEFINITIVA

Transcurrido el plazo de garantía, previo reconocimiento de las obras y demás trámites reglamentarios y en el supuesto de que todos los trabajos se encuentren en las debidas condiciones, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras, para lo cual se elaborará la correspondiente Acta de Recepción Definitiva. Se relatarán las incidencias existentes durante el proceso de garantía y deberá estar firmada por representantes cualificados de la Propiedad y el Adjudicatario.

Hasta que el representante de la Propiedad no haya aprobado la recepción definitiva de los trabajos, el Adjudicatario se hará cargo de los desperfectos incluso si fueron debidos a una operación ordenada por la Propiedad con el conocimiento del Adjudicatario.

Si son necesarias pruebas de funcionamiento, capacidad de producción, etc., para la recepción definitiva del algún elemento o del conjunto, el Adjudicatario dirigirá dichas pruebas y cargará con los gastos de todos los medios y creación de condiciones, salvo si todos o parte de tales gastos fueron incluidos en la adjudicación como obligaciones de la Propiedad. Con anterioridad a la recepción definitiva serán resueltas todas las reclamaciones planteadas y habrán transcurrido todos los plazos de garantía de los equipos, componentes o piezas que hayan sido sustituidas.

Podrán hacerse recepciones definitivas parciales en los casos en los que se considere oportuna esta decisión. Efectuada la recepción definitiva de todo suministro, cesa la garantía establecida.



## 7. ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y SEGUROS

### 7.1. ALMACENAMIENTO

La Propiedad indicará la capacidad de los almacenes o explanadas de propio acopio de los que dispondrá el Adjudicatario en obra, así como la fecha a partir de la cual podrá disponer de ellos. Queda terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del Ingeniero Director, efectuar acopios de materiales, cualquiera que sea su naturaleza, en zonas que dificulten el adecuado transcurso de los trabajos.

Los materiales se almacenarán de forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de dicha utilización.

Las superficies empleadas como zonas de acopio deberán acondicionarse una vez finalizado el uso de los materiales en ellas acumulados, de forma que puedan recuperar su aspecto original. Todos los gastos requeridos para efectuar el almacenamiento, manutención o guarda serán por cuenta del Adjudicatario.

### 7.2. TRANSPORTE

Salvo que la Propiedad indique lo contrario, compete al Adjudicatario transportar a las instalaciones de la obra todos los materiales y equipos objeto del suministro desde sus fábricas, colocándose en buenas condiciones de manejabilidad, conservación y seguridad en los lugares destinados por la Propiedad a tal fin.

El Adjudicatario deberá prever que ninguna expedición sea hecha desde sus fábricas o desde las de sus suministradores sin aprobación previa por parte de la Propiedad, teniendo en cuenta que:

- Se respetarán las fechas previstas en el programa de trabajos.
- El escalonamiento de envíos en las fechas más desfavorables para la buena marcha de los trabajos y la óptima utilización de las superficies reservadas a parques.
- La eventual inspección de los embalajes y otras condiciones de trabajo.
- La eventual colaboración de la Propiedad en la resolución de los problemas de transporte que puedan resultar de volúmenes o pesos excesivos, en especial cuando se resolución dependa de Organismos Oficiales del Estado.

La aceptación por parte de la Propiedad de los embalajes, acondicionamiento y medios de transporte no exime de su responsabilidad al Adjudicatario en lo que respecta al transporte, así como al funcionamiento y duración de los materiales y equipos expedidos. Los embalajes de los materiales y equipos entregados en las instalaciones de la obra pasarán a ser dominio de la Propiedad después de su utilización. El Adjudicatario deberá prever que la Propiedad reciba cada expedición, con antelación suficiente, una lista de embalajes con indicación de los respectivos contenidos, pesos, dimensiones y marcas, permitiendo una identificación fácil y correcta.

### **7.3. SEGUROS DE TRANSPORTE**

El seguro de materiales y equipos en tránsito será efectuado por el Adjudicatario, a no ser que la Propiedad haga constar expresamente que suscribirá un seguro por su cuenta.

### **7.4. IMPORTACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS**

Los equipos y materiales procedentes del extranjero requieren trámites aduaneros que deberán ser realizados en nombre de la Propiedad por el Adjudicatario.

El Adjudicatario obtendrá a su debido tiempo la documentación necesaria para la importación y para el paso en tránsito por un tercer país, en caso de que fuese necesario. En caso de que el Adjudicatario no pudiese llevar a cabo los trámites citados en la cláusula anterior, la Propiedad llevaría a cabo la tramitación y despacho en aduanas de los materiales importados, por cuenta del Adjudicatario.

El Adjudicatario deberá comunicar por escrito a la Propiedad por cada fabricante extranjero y en relación con el equipo a importar, los siguientes elementos: designación, peso líquido, valor, procedencia y moneda de pago. El Adjudicatario deberá obtener a su debido tiempo la documentación necesaria para que los trámites aduaneros se efectúen en las mejores condiciones independientemente de que la Propiedad gestione, si procede, la exención de derechos de importación.

## 8. ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS

### 8.1. DIRECCIÓN DE LAS OBRAS Y REPRESENTACIÓN DEL ADJUDICATARIO

La dirección del conjunto de las obras estará a cargo del personal técnico de la Propiedad. Se indicará en cada caso al Adjudicatario quién es el Ingeniero Encargado o Director Técnico de la Obra, cuyas principales funciones, que afectan sobre todo a las relaciones con el Adjudicatario, son:

- Exigir al Adjudicatario el cumplimiento de las condiciones contractuales.
- Definir aquellas condiciones técnicas que surjan en la interpretación de planos, condiciones de los materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas, y el cumplimiento del programa de los trabajos.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en los trabajos que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando en su caso las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener de los organismos oficiales y de los particulares los permisos y autorizaciones necesarios para la ejecución de las obras y ocupación de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente y bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual el Adjudicatario deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.
- Participar en las recepciones provisional y definitiva y redactar la liquidación de las obras, conforme a las normas legales establecidas.

El Adjudicatario estará obligado a prestar su colaboración al Ingeniero Director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

Antes de iniciarse los trabajos, el Adjudicatario deberá indicar a la Propiedad el nombre de su representante al frente de los mismos, que actuará como Jefe de Montaje, tanto en los aspectos técnicos como económicos.

Los poderes del Jefe de Montaje deben ser los suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la Propiedad. En ningún caso constituirá motivo de excusa para el Adjudicatario la ausencia de su representante a pie de obra. Al mismo tiempo, deberá presentar para su aprobación, la relación nominal de personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a desarrollar por cada uno de ellos.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar al Jefe de Montaje o a cualquier otro técnico destinado por el Adjudicatario en la obra durante el desarrollo de los trabajos, obligándose éste a sustituirlo en un plazo de treinta días por otro de igual categoría. En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente para la buena marcha de los trabajos, éste se obliga a completar su organización con el número de técnicos que fuera necesario según el criterio de la Dirección de Obra.

## **8.2. TERRENOS NECESARIOS PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**

La Propiedad indicará al Adjudicatario los límites de los terrenos de su propiedad dentro de los cuales puede montar sus instalaciones y dará acceso a los mismos. Todo esto estará indicado en los planos que se entreguen a los concursantes para el estudio de las ofertas.

Se supone en el Adjudicatario un conocimiento perfecto de la disposición del conjunto de los terrenos, de la importancia y situación de los trabajos objeto del contrato, de la naturaleza y estado de los terrenos, de los emplazamientos reservados para las obras, de los medios de acceso, así como de las condiciones climáticas de la región, especialmente aquéllas que puedan afectar a los trabajos. La obligación de la Propiedad en cuanto a entrega de los terrenos necesarios queda limitada a los que figuran y se reseñan en los planos que se entreguen a los concursantes con la petición de oferta que, al mismo tiempo, definirán lo que se entiende por zona de montaje.

Si por conveniencia del Adjudicatario éste deseara disponer de otros terrenos distintos de los figurados y reseñados en los planos antes citados, será de su cargo su adquisición o la obtención de las autorizaciones pertinentes, debiendo el Adjudicatario someter previamente a la conformidad de la Propiedad las modalidades de adquisición o de obtención de la autorización respectiva.

El Adjudicatario será responsable de los daños que puede causar en las vías públicas y en los caminos de acceso si éstos son de particulares o de la Propiedad. Se obliga también a cumplir todas las limitaciones y solicitar los permisos de transportes especiales, etc. En cualquier caso, el Adjudicatario responde de todos los perjuicios que, como consecuencia del contrato, se puedan causar a terceras personas en bienes muebles, inmuebles, cosechas, etc., y son de su competencia las reclamaciones que puedan formularse con ocasión de dichos perjuicios.

### 8.3. INSTALACIONES AUXILIARES

En el caso de que la obra se construya en una zona en la que la Propiedad distribuya energía eléctrica, ésta facilitará al Adjudicatario la potencia necesaria para sus instalaciones y le indicará el precio que le cobrará por la energía consumida. La red de distribución de energía en las zonas de obra que será de cuenta del Adjudicatario, deberá estar constituida por cables aislados y no deberá interferir otros trabajos en marcha, de manera que su instalación deberá ser autorizada previamente por la Propiedad en el caso de estar ubicada en el recinto de la obra, y cumplirá todas las normas oficiales en vigor. El abastecimiento de agua y de aire comprimido necesario para la obra será de cuenta del Adjudicatario y su instalación deberá cumplir las normas y reglamentos oficiales en vigor.

La Propiedad podrá facilitar, en caso de disponer de los mismos, materiales y medios auxiliares en las condiciones que se establezcan. Serán de cuenta y responsabilidad del Adjudicatario:

- Los medios y los materiales necesarios para construcción, conservación, desmontaje, demolición o retirada en el plazo que se le señale, de sus instalaciones en obra, tales como oficinas, almacenes, comedores, etc.
- Los medios para asegurar la vigilancia y conservación del material almacenado en obra o curso de montaje.
- Todas las herramientas o medios necesarios para la ejecución del montaje, tales como andamios, escaleras, diferenciales, etc., y materiales de consumo de corriente como electrodos, lubricantes, etc.
- Todos los ensayos de materias primas o componentes que se estimen necesarios en curso de montaje, sean efectuados en laboratorio de obra o foráneos.
- Las diligencias o gastos necesarios para la realización de las operaciones normales de inspección por parte de los organismos oficiales.

El Adjudicatario no podrá ampararse, con el fin de eludir las obligaciones del contrato, en las dificultades que puedan ser ocasionadas por la ejecución simultánea de otros trabajos o instalaciones confiadas por la Propiedad a otros contratistas o suministradores que intervengan en la realización del mismo proyecto.

El Adjudicatario no podrá reclamar si en el curso de los trabajos y para cumplimiento normal del contrato se viese precisado a aumentar la importancia de su material, en calidad o en cantidad, en relación con sus previsiones iniciales. De cada nueva aportación de maquinaria se formalizará una nota análoga a la que forma parte del contrato para la maquinaria y útiles aportados inicialmente, que se unirá como anexo al contrato.

Sin embargo, cuando el Adjudicatario se vea obligado a poner en servicio material suplementario para responder, bien a circunstancias imprevistas en el contrato o bien a causas de fuerza mayor debidamente comprobadas y, en cualquiera de ambos casos, reconocidas previamente por la Propiedad, la utilización de ese material será de abono por aplicación de precios complementarios establecidos de común acuerdo, conforme a las disposiciones que se fijan en este Pliego.

#### **8.4. RELACIONES ENTRE LA PROPIEDAD Y LOS DIVERSOS CONTRATISTAS**

El Adjudicatario está obligado a suministrar, en cualquier momento, toda la información relativa a la ejecución del contrato que la Propiedad juzgue necesario tener conocimiento por razón de las posibles incidencias de los trabajos confiados al Adjudicatario, sobre los de otros contratistas o suministradores. En ningún caso las peticiones de información dirigidas al Adjudicatario por la Propiedad supondrán una injerencia de la Propiedad en la ejecución del contrato, ni entrañarán una participación de la Propiedad en la responsabilidad del Adjudicatario. Las peticiones tendrán únicamente carácter informativo. En todo caso, el Adjudicatario es el único responsable del ejercicio de la función que le es propia, en orden a las obligaciones del contrato.

Siempre que sea requerido, el Adjudicatario, o su representante, deberá presentarse en el domicilio de la Propiedad en la obra, con el fin de que no pueda invocarse su ausencia como causa de retraso o suspensión del cumplimiento de las órdenes de la Propiedad.

La coordinación de las actividades del Adjudicatario necesarias para la ejecución del suministro con la de otros contratistas de la Propiedad o con cualquier entidad ajena al contrato con quien hay necesidad de tratar es de la competencia de la Propiedad.

Siempre que el Adjudicatario establezca contacto con otros contratistas de la Propiedad para tratar de asuntos relativos a la buena ejecución del suministro, se obliga a enviar a la Propiedad copias de las comunicaciones y correspondencia producida; las decisiones tomadas durante tales contactos sólo tendrán efecto en relación con la Propiedad si ésta las aprobase por escrito.

Si como consecuencia de los anteriores contactos surgieran diferencias o dificultades, el Adjudicatario deberá pedir una reunión con los representantes de la Propiedad, que las resolverán de acuerdo con los contratos establecidos con los contratantes interesados. Las reuniones de esta naturaleza deberán ser solicitadas con un mínimo de diez días de antelación.

La Propiedad, siempre que lo juzgue conveniente, convocará, por su iniciativa o a petición del Adjudicatario, reuniones con éste y con otros contratantes, a fin de discutir y resolver, de acuerdo con el programa de trabajos aprobado, los problemas que resulten de la coordinación de los trabajos en curso, de la ocupación sucesiva de locales en la obra, de la disponibilidad de medios de utilización común y en uso. Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre este uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes.

La Propiedad deberá estar permanentemente informada de los acuerdos tomados entre los distintos contratistas o suministradores para, en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la resolución que proceda. La decisión es obligatoria para los interesados.

En ningún caso la Propiedad deberá encontrarse durante los trabajos, en presencia de una situación de hecho, que tuviese lugar por una falta de información por parte del Adjudicatario o de los otros suministradores o contratistas de las obras. Cuando varios contratistas y suministradores trabajen en la misma obra, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudieran derivarse de su propia actuación.

## **8.5. SUBCONTRATACIÓN DE LAS OBRAS**

A menos que el contrato disponga lo contrario o que de su naturaleza y condiciones se deduzca que la obra ha de ser ejecutada directamente por el Adjudicatario, este último podrá contratar con terceros la realización de determinadas unidades de obra, cumpliendo para ello los siguientes requisitos:

- Notificar por escrito al Ingeniero del subcontrato a celebrar, las partes de obra a realizar y las condiciones económicas, de modo que éste las pueda autorizar previamente.
- Que las unidades de obra que el Adjudicatario contrate con terceros no excedan el 50% el presupuesto total de la obra principal.

La subcontratación deberá siempre supeditarse a la autorización previa por parte de la Propiedad. En cualquier caso, la Propiedad no quedará vinculada en absoluto, ni reconocerá ninguna obligación contractual entre ella y el Subcontratista, de forma que cualquier subcontratación de obra no eximirá al Adjudicatario de ninguna de sus obligaciones respecto a la Propiedad.

## 8.6. PERSONAL DE MONTAJE

Es de competencia del Adjudicatario por su cuenta y responsabilidad, todo el personal especializado, no especializado y auxiliar para la dirección y ejecución del montaje, así como todos los suplidos y gastos de ese personal, tales como viajes, alojamientos, dietas, desplazamientos de alojamiento en obra y desplazamientos dentro de la propia obra.

Cualquiera que sea la nacionalidad del Adjudicatario, el reclutamiento del personal deberá cumplimentar las leyes en vigor. Si el Adjudicatario emplea en obra personal extranjero, será de su cuenta y cargo la obtención de las condiciones necesarias para que pueda trabajar en España.

Todo el personal, independientemente de su nacionalidad, acatará las leyes laborales vigentes en cuanto a horarios, seguros sociales, etc., además de aquellas de carácter general que estén vigentes para el personal de la obra. Al frente de cada trabajo de montaje, el Adjudicatario deberá tener, a pie de obra, un técnico titulado de cualquier especialidad o condición, que pueda acreditar de forma satisfactoria ante la Propiedad, su competencia en esta clase de trabajos. El Adjudicatario es responsable de los fraudes o malversaciones que sean cometidas por su personal en el suministro o en el empleo de materiales. El número de trabajadores de cada profesión deberá ser siempre proporcionado a la cantidad de obra a ejecutar, teniendo en cuenta los plazos fijados. El Adjudicatario deberá remitir a la Propiedad, siempre que lo solicite, una relación del personal presente en la obra, clasificado por categoría profesional. El Adjudicatario está obligado a mantener la disciplina y el orden en los lugares de trabajo.

La Propiedad se reserva el derecho a exigir la retirada de la obra de cualquier operario al servicio del Adjudicatario cuando su presencia se revele perjudicial para la marcha o el orden de los trabajos.

## 8.7. SEGUROS DE ASISTENCIA MÉDICA

El Adjudicatario no podrá empezar los trabajos sin justificar previamente ante la Propiedad, tener cubiertos los seguros por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, de acuerdo con la legislación vigente. El Adjudicatario asegurará por sí mismo o por medio de Compañía de Seguros adecuada, la prestación de asistencia médica o de enfermedad al personal.

El Adjudicatario es responsable de las condiciones de seguridad en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre esta materia, las medidas que dicten la Inspección del Trabajo y demás organismos competentes y las normas de seguridad que correspondan a las características de las obras contratadas.

Con objeto de organizar colectivamente y de inspeccionar la seguridad y la higiene de las obras, todos los contratistas que trabajen en las mismas deberán, por indicación de la Propiedad, agruparse en el seno de una Junta Central de Seguridad, formada por los representantes de las empresas, Junta que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad adoptadas por los comités u organizaciones de seguridad de cada una de las empresas.



## 9. CONDICIONES DE PAGO. LEGISLACIÓN

### 9.1. DEFINICIÓN DE LOS PRECIOS

Los gastos de bienes y servicios objeto de suministro, serán expresados en moneda de la unión europea y cubrirán lo siguiente la fabricación, el suministro y el montaje de todos los equipos ensayados y en funcionamiento; los repuestos y servicios adicionales que se especifiquen, y la conservación y mantenimiento durante el periodo de garantía.

Es de interés indicar que los gastos de primer establecimiento y desmontaje y retirada de las instalaciones de obra, estarán incluidos en el precio del suministro.

Todos los precios unitarios o globales comprenden, sin excepción ni reserva, además del beneficio del Adjudicatario, la totalidad de los gastos y cargas ocasionadas por la ejecución en los plazos establecidos de los trabajos correspondientes a cada uno de ellos, incluidos los que resulten de las obligaciones impuestas al Adjudicatario por los diferentes documentos del contrato y por el presente Pliego de Condiciones Generales.

El precio de los materiales y equipos que componen el suministro comprenderá:

- Coste de fábrica, incluyendo el embalaje, de los materiales y equipos, sean de procedencia nacional o extranjera.
- Coste del transporte desde la fábrica hasta la obra.
- Coste del seguro de transporte.
- Coste unitario de las piezas de repuesto que se establezcan.

En el precio de materiales y equipos incluye los estudios de fabricación, dibujos, esquemas eléctricos, etc., así como los derechos de patentes, royalties y demás que puedan incidir sobre los mismos, quedando la Propiedad libre de cualquier exigencia por parte de terceros sobre los citados derechos.

En el precio del transporte estarán incluidas cargas, descargas, transbordos, colocación en parque o almacén, incluso guarda, así como de los gastos correspondientes a derechos aduaneros o permisos de importación.

El costo y montaje incluirá los gastos de instrucción y adiestramiento del personal de la Propiedad, que se hará cargo de la explotación de las instalaciones, el precio de los seguros de montaje y los ensayos de los equipos e instalaciones una vez finalizado en montaje, en los términos señalados en este Pliego.

## 9.2. PRESTACIONES ACCESORIAS Y TRABAJOS POR ADMINISTRACIÓN

El Adjudicatario está obligado a realizar a título accesorio, trabajos de pequeña importancia y prestaciones complementarias en régimen de Administración.

Los trabajos realizados en régimen de administración se liquidarán de la siguiente manera:

- Empleo de la mano de obra y materiales, que se obtiene aplicando al total de horas trabajadas por personal obrero de cada categoría, directamente empleado en estos trabajos, la tarifa media horaria correspondiente, según baremo establecido, incluyendo jornales, cargas sociales, gastos de alojamiento y porcentaje de útiles y herramientas. El precio pagado según factura de los materiales y suministros utilizados en estos trabajos incluye el transporte hasta el almacén de obra. El tanto por ciento de aumento cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio. Este porcentaje se fijará en el contrato y será inferior o igual a 20.
- Empleo de equipo auxiliar: la mano de obra directa y el combustible y energía correspondiente al empleo de maquinaria o equipo auxiliar del Adjudicatario, para la ejecución de trabajos o prestaciones de servicio pagados por la Administración, serán abonados al Adjudicatario por aplicación de las fórmulas anteriores.

Además, se abonará al Adjudicatario una remuneración, según tarifa, en concepto de utilización de maquinaria, incluyendo los gastos de conservación, reparaciones y recambios.

Se emplearán una o varias tarifas según el tipo de maquinaria expresada, siempre en un tanto por mil del valor de la máquina por hora efectiva de utilización (o bien por día natural de utilización). Cuando se decida de común acuerdo traer a la obra, especialmente para trabajos por Administración, nueva maquinaria, se empleará también la expresión anterior, pero se asegurará al Adjudicatario una remuneración diaria mínima en concepto de inmovilización expresada también en un tanto por mil del valor de la máquina, por día natural de inmovilización. Además, en este caso, se abonará al Adjudicatario el transporte de la maquinaria a obra, ida y vuelta, y los gastos de montaje y desmontaje, si los hubiese, según la expresión indicada en el apartado anterior.

Cuando una máquina sea utilizada con posterioridad a la fecha en la que su empleo era necesario para terminar los trabajos objeto del presente contrato, a partir de la misma se asegurará al Adjudicatario la percepción del mínimo de inmovilización antes señalado. Los importes obtenidos anteriormente tendrán también el mismo porcentaje anteriormente citado en el apartado anterior, que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficios. El Convenio de Adjudicación o el Pliego de Condiciones Particulares establecerán los detalles complementarios que sean precisos.

### 9.3. ABONO DE TRABAJOS NO PREVISTOS

Todas las unidades de obra que se necesiten efectuar para terminar completamente el proyecto y que no hayan sido definidas en éste, se abonarán según los precios contractuales correspondientes, teniendo en cuenta los del contrato o por asimilación a obras de semejante naturaleza. Los nuevos precios se basarán en las mismas condiciones económicas que los precios del contrato.

A falta de un acuerdo mutuo, y en espera de la resolución de las discrepancias surgidas, se liquidará provisionalmente al Adjudicatario en base a las tasaciones fijadas por la Propiedad.

Si no hubiese conformidad en la fijación de dichos precios entre la Propiedad y el Adjudicatario, éste quedará relegado de la construcción de la parte de la obra que se trate, sin derecho a indemnización de ninguna clase. En esta situación en la que, a juicio de la Propiedad, sea imposible el fijar nuevos precios, corresponderá a la Propiedad la decisión de abonar excepcionalmente los trabajos en régimen de Administración.

Cuando se proceda al empleo de materiales o ejecución de las obras sin la previa aprobación de los precios que hayan de aplicarse, se entenderá que el Adjudicatario se conforma con los que le fije la Propiedad.

### 9.4. REVISIÓN DE LOS PRECIOS

En caso de que se produzca una variación de las condiciones económicas en el curso de la ejecución del contrato, los precios establecidos serán revisados por la aplicación de la siguiente fórmula general:

$$P = P_0 K \quad (9.1)$$

Donde  $P_0$  es el precio de origen a revisar (€),  $P$  el nuevo valor del precio  $P_0$  después de la revisión (€) y  $K$  un coeficiente de la forma:

$$K = 0,15 + a \frac{H_i}{H_0} + b_i \frac{M_i}{M_{oi}} \quad (9.2)$$

Donde  $a$  y  $b$  son coeficientes de influencia que cumplen la característica de que  $a + b_i = 0,85$ ,  $H_0$  es el índice de mano de obra en la fecha de presentación de la oferta,  $H_i$  es el índice de la mano de obra en el período en el cual se ha calculado la revisión,  $M_i$  y  $M_{oi}$  son los índices correspondientes a materiales en la fecha de presentación de ofertas y en el período dentro del cual se ha calculado la revisión, respectivamente.

Los índices empleados en esta fórmula son los índices oficiales de precios sometidos mensualmente a la aprobación del Gobierno por el Comité Superior de Precios de Contratos del Estado y publicados en el Boletín Oficial del Estado, según dispone el Real Decreto 1098/2001, del 12 de octubre, que deroga al Decreto ley del 4 de febrero de 1964. Para un mismo contrato se pueden prever uno o varios coeficientes K, aplicándose cada uno de ellos a un determinado grupo de precios.

La revisión de los precios se realizará únicamente en caso de producirse variaciones en los índices previstos en cada caso. La Propiedad establecerá en cada caso particular la fórmula o fórmulas de revisión a emplear y las normas complementarias de aplicación de las mismas.

Si los trabajos no han terminado al final del plazo global de ejecución previsto en el Convenio, prolongados, si a lugar, en un tiempo igual al de los retrasos reconocidos y aceptado por la Propiedad, resultantes de circunstancias no imputables al Adjudicatario, los coeficientes K, a utilizar en la continuación de las obras no podrán en ningún momento ser superiores a los alcanzados en la época de terminación del plazo. Todos los valores inferiores de estos índices, serán, por el contrario, aplicados a partir de la época en la que los mismos se hayan comprobado. En principio, no serán revisables, más que los precios que se refieran a prestaciones efectuadas en territorio español. Además, cuando estos precios contengan elementos que dependan de un sistema económico, su revisión se limitará únicamente a la fracción de cada uno de ellos que dependa de las variaciones económicas comprobadas en España.

Si el contrato prevé excepcionalmente la revisión de los precios que dependan en su totalidad o en parte de un sistema económico extranjero, el importe revisado por medio de las fórmulas contractuales previstas a este efecto estará limitado al valor obtenido:

- Convirtiendo el precio inicial, cuando esté fijado en divisas extranjeras, en euros, al tipo de cambio aplicable en la fecha de referencia de precios.
- Aplicando al precio inicial, expresado en euros, la fórmula de revisión contractual, después de haber reemplazado los índices en vigor en el país extranjero por los índices o tipos de la misma naturaleza establecidos en el contrato.
- Convirtiendo, en su caso, el importe obtenido en divisas al cambio aplicable en las fechas de revisión.

## 9.5. CONDICIONES DE PAGO

En el contrato figurará una cláusula en la que se indique claramente la forma en que la Propiedad efectuará los pagos del equipo y materiales.

El coste del montaje será abonado totalmente en la fecha de recepción definitiva de las instalaciones, salvo que se especifique otro acuerdo en el contrato. En el contrato se indicará el porcentaje sobre el coste total de suministros y servicios prestados por el Adjudicatario, que no se abonarán hasta la terminación del plazo de garantía.

A efectos de pago de los diferentes equipos y servicios objeto de contrato, serán consideradas las partidas de equipo y materiales entregados en el local de montaje así como el montaje e instrucción del personal de explotación de la Propiedad.

## 9.6. PENALIDADES

Podrán aplicarse penalidades al Adjudicatario, e incluso podrá decidirse la rescisión del contrato en los siguientes casos:

- Si no se respetan las fechas finales o intermedias del programa general de trabajos aprobado.
- Si se retrasa la entrega de la documentación técnica.
- Si el equipo, o parte de él, no fuese capaz de asegurar normalmente el servicio industrial para el cual fue concebida y especificado.
- Si los resultados de las medidas y ensayos no correspondieran a los valores garantizados.

Aparte de la posibilidad de rescisión del contrato, el Adjudicatario tomará a su cargo los gastos ocasionados por los retrasos.

Las penalidades o rescisión del contrato a que se ha hecho referencia, serán aplicadas después de comprobar la Propiedad la imposibilidad por parte del Adjudicatario de corregir las faltas o defectos verificados y los desvíos medidos, y después de haber introducido en el plazo autorizado por la Propiedad las modificaciones del equipo y que sin, entre tanto, se produjesen perjuicios directos o indirectos a la Propiedad. La Cuantía de la penalidad será determinada y calculada en cada caso particular en función del perjuicio causado a la Propiedad.

La Propiedad notificará al Adjudicatario, mediante una carta certificada con acuse de recibo, la aplicación de las penalidades.

### 9.7. INDEMNIZACIONES A FAVOR DEL ADJUDICATARIO

Únicamente tendrá derecho el Adjudicatario a una indemnización en su favor en caso de pérdidas, averías y daños imputables a la Propiedad y debidamente comprobados, y eventualmente cuando sean de causa mayor.

El Adjudicatario adoptará las disposiciones necesarias, a su cuenta y riesgo, para que su material e instalaciones no puedan sufrir daños o perjuicios como consecuencia de fenómenos naturales previsibles de acuerdo con la situación u orientación de la obra.

En el supuesto de que el Adjudicatario estime que existan causas de fuerza mayor, comunicará por escrito este hecho a la Propiedad en un plazo máximo de diez días después de darse las circunstancias. La Propiedad se reserva el derecho de fijar en cada caso las indemnizaciones que puedan concederse al Adjudicatario y decidir si el motivo por el que se reclama la indemnización puede incluirse en lo reseñado en el primer párrafo de este apartado. Pasados diez días no se admitirá ninguna reclamación procedente del Adjudicatario.

Se considerarán a estos efectos como causas de fuerza mayor las indicadas en el Pliego de Condiciones Generales para la Contratación de Obras Públicas.

### 9.8. CESE O APLAZAMIENTO DE LOS TRABAJOS. RESCISIÓN DE CONTRATO

En el caso de que la Propiedad ordene el cese absoluto de los trabajos, el contrato queda inmediatamente rescindido. Si la Propiedad ordena su aplazamiento por más de un año, sea antes o después del comienzo de las obras, el Adjudicatario tiene derecho a la rescisión del contrato, si lo solicita por escrito, sin que con ello tenga perjuicio alguno sobre la indemnización que tanto en un caso como en otro le corresponda.

No se aceptará la petición de rescisión de contrato, por parte del Adjudicatario, cuando sea presentada en un plazo superior a los cuatro meses a partir de la fecha de notificación de la orden de servicio, prescribiendo el cese o aplazamiento de los trabajos.

Si la Propiedad ordena el aplazamiento de los trabajos durante un período menor de un año, el Adjudicatario no tendrá derecho a rescisión, pero sí a una indemnización en caso de perjuicios debidamente contrastados. En el caso de que hubiesen empezado los trabajos, el Adjudicatario puede requerir que se proceda a la recepción provisional de las obras acabas y en estado de ser recibidas y, una vez transcurrido el plazo de garantía, a la recepción definitiva. En caso de fallecimiento del Adjudicatario, el contrato será rescindido de pleno derecho, salvo que los herederos se comprometan por escrito a cumplir el contrato existente, sin introducir en él modificación alguna.

En caso de quiebra o de suspensión alguna de pagos por parte del Adjudicatario, el contrato queda inmediatamente rescindido de pleno derecho, bastando para ello que la Propiedad lo notifique de forma fehaciente en el plazo de dos meses a partir de la publicación legal de la declaración de quiebra o de la suspensión de pagos.

En todo momento las medidas de conservación o de seguridad cuya urgencia sea manifiesta, serán tomadas de oficio por la Propiedad con cargo al Adjudicatario, sin perjuicio de la decisión definitiva del Tribunal.

Cuando el Adjudicatario no dé cumplimiento a las disposiciones u obligaciones del contrato o a las órdenes dadas por la Propiedad, ésta exhortará a cumplir los requisitos o demandas en un plazo determinado que, salvo en casos de urgencia, no será menor de diez días desde la notificación de la amonestación (intimación). Pasado este plazo, si el Adjudicatario no ha ejecutado las disposiciones prescritas la Propiedad podrá ordenar, a título provisional, el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del Adjudicatario. Se procederá inmediatamente, en presencia del Adjudicatario o habiéndose convocado debidamente, a la comprobación de los trabajos realizados, de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de su material y a la devolución a éste de la parte de los materiales que no utilizará la Propiedad para la terminación de los trabajos.

La Propiedad tiene la facultad de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso sobre petición de ofertas y de ejecutar el derecho de rescisión de contrato o bien de prescindir de la continuación de la intervención. Durante el período del régimen de intervención el Adjudicatario podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la Propiedad.

El Adjudicatario podrá ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulten de la intervención o del nuevo contrato, serán deducidos de las sumas que puedan ser debidas al Adjudicatario, sin perjuicio de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes. Si la intervención o el nuevo contrato suponen, por el contrario, una disminución de gastos, el Adjudicatario no podrá pretender beneficiarse de ninguna parte de la diferencia, que quedará a favor de la Propiedad.

En todos los casos de rescisión, se procederá con el Adjudicatario o sus derechohabientes presentes o debidamente convocados, a la comprobación de los trabajos realizados, al inventario de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de la maquinaria y de la instalación de la obra.

Cuando se dé la rescisión de la obra por otros conceptos que no sea la petición de ésta por parte de la Propiedad, ésta última entidad puede exigir al Adjudicatario que mantenga en obra todo o parte de sus instalaciones generales o de su material, con el fin de poder disponer libremente la prosecución de los trabajos, encargando su ejecución, de estimarlo conveniente, a otra empresa.

Las instalaciones, maquinaria, etc., que la Propiedad decida que deben permanecer en obra, podrán ser utilizadas por ésta por otra empresa de su elección hasta la terminación de las obras objeto del contrato rescindido, sin pago alguno por parte de la Propiedad o de dicha empresa designada en concepto de alquiler, amortización, etc.

Los materiales existentes de la obra y que la Propiedad decida utilizar en la terminación de las obras, serán abonados según los precios incluidos en el contrato anulado o según los que se fijen en su peritaje. En los casos de rescisión por decisión de la Propiedad, se acordará entre ésta y el Adjudicatario qué instalaciones deben permanecer en la obra y la indemnización a pagar por la Propiedad en este concepto. En ningún caso podrá el Adjudicatario retirar de la obra maquinaria, materiales, instalaciones, etc., sin la autorización por escrito de la Propiedad.

En casos de rescisión de contrato, la Propiedad le comunicará en un plazo de cuatro meses a partir de la fecha de rescisión las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que deben permanecer en la obra. También le indicará el plazo en que se deben retirar de la obra las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que la Propiedad no vaya a emplear en la terminación de los trabajos.

Para la aplicación del presente artículo por el Adjudicatario, es preciso entender, en su caso, sus derecho-habientes.

## 9.9. LEGISLACIÓN

Las leyes españolas regularán las fases de concurso y establecimiento del contrato. El Adjudicatario queda obligado a respetar las disposiciones prescritas en la legislación española vigente a la ejecución del contrato y a acatar las consecuencias de su incumplimiento.

El Adjudicatario y la Propiedad acuerdan someter la resolución de todas las divergencias, controversias y discrepancias a que pueda dar lugar la interpretación o la ejecución del contrato de las obras, al juicio arbitral del derecho privado, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley 60/2003, de 22 de diciembre, de Arbitraje.

El arbitraje será de equidad y los árbitros han de ser tres Ingenieros Químicos. Los árbitros resolverán sobre los puntos concretos que se sometan a su decisión en la correspondiente escritura notarial de formalización de compromiso y dentro del plazo que en la misma se señale.

Los honorarios de los árbitros serán sufragados a medias entre el Adjudicatario y la Propiedad.

Contra el laudo emitido por los árbitros, con arreglo a su leal saber y entender, únicamente cabrá recurso de nulidad ante la Sala 1ª del Tribunal Supremo, por los motivos que se indican en el párrafo 3º del artículo 1691 de la Ley de Enjuiciamiento Civil.



---

# DOCUMENTO IV: ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

---

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOOCTANO

# ÍNDICE DEL ANEXO IV

1.	IMPACTO AMBIENTAL.....	4
1.1.	Introducción.....	4
1.2.	Descripción del proyecto .....	4
1.2.1.	Sección 100: Acondicionamiento de materias primas .....	4
1.2.2.	Sección 200: Reacción y tratamiento del ácido sulfúrico.....	5
1.2.3.	Sección 300: Purificación del vapor y purga de propano .....	5
1.2.4.	Sección 400: Purificación del isooctano.....	6
1.3.	Análisis de alternativas viables.....	6
1.3.1.	Justificación de la ubicación.....	6
1.3.2.	Tecnología utilizada .....	6
1.4.	Inventario ambiental .....	8
1.4.1.	Clima .....	8
1.4.2.	Atmósfera .....	9
1.4.3.	Ruido .....	9
1.4.4.	Hidrología.....	9
1.4.5.	Aspectos socioeconómicos .....	9
1.5.	Identificación de impactos ambientales .....	10
1.6.	Medidas para la reducción de los impactos .....	11
1.6.1.	Medidas preventivas de carácter general.....	11
1.6.2.	Medidas preventivas para la minimización del impacto atmosférico.....	12
1.6.3.	Medidas para la minimización de impactos sobre el suelo y el agua .....	12
1.6.4.	Sustancias peligrosas .....	13
1.6.5.	Medidas para minimizar el impacto por ruido.....	13
1.6.6.	Medidas para evitar accidentes.....	14
1.6.7.	Medidas para evitar explosiones e incendios.....	14
1.6.8.	Medidas para la prevención del impacto social .....	15

1.6.9.	Desmantelamiento de la instalación .....	15
1.7.	Programa de vigilancia ambiental.....	15
1.7.1.	Introducción.....	15
1.7.2.	Alcance .....	16
1.7.3.	Ejecución y operación .....	16
1.7.4.	Actividades de seguimiento.....	17
1.8.	Resumen .....	19
1.9.	Conclusiones.....	20
2.	ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.....	21
2.1.	Introducción.....	21
2.2.	Antecedentes y objeto del estudio.....	21
2.3.	Características de la obra .....	21
2.3.1.	Procedimiento de construcción.....	22
2.4.	Análisis de riesgos .....	26
2.4.1.	Introducción.....	26
2.4.2.	Riesgos detectables más comunes .....	26
2.5.	Medidas de prevención .....	28
2.5.1.	Equipos de protección individual (EPI's).....	29
2.5.2.	Medidas de protección colectivas.....	32
2.5.3.	Medidas preventivas de la maquinaria de obra.....	38
2.6.	Normas de actuación preventiva.....	43
2.6.1.	Seguridad durante la construcción.....	43
2.6.2.	Medicina preventiva y primeros auxilios .....	46
2.6.3.	Mantenimiento preventivo.....	47
2.6.4.	Plan de emergencia.....	48
2.6.5.	Plan de Seguridad y Salud.....	48
2.6.6.	Libro de incidencias.....	49
2.6.7.	Conclusiones.....	49

# 1. IMPACTO AMBIENTAL

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Además de la rentabilidad económica y la seguridad de la instalación, el otro requisito fundamental para la construcción de una planta química es la respetuosidad con el medio ambiente. Por ello, el objetivo se focaliza en la reducción del impacto ambiental, ocasionado al entorno, al mínimo posible.

Con tal objetivo, se procede a la realización del Estudio de Impacto Ambiental analizando los focos de contaminación y los problemas que se puedan generar al ambiente por la producción de isooctano. Esto se lleva a cabo siguiendo la Ley 21/2013 de 9 de diciembre de Evaluación Ambiental (B.O.E. 11 de diciembre de 2013) que establece las bases que deben regir la evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente, garantizando en todo el territorio del Estado un elevado nivel de protección ambiental, con el fin de promover un desarrollo sostenible.

Se procede, por lo tanto, a la identificación de las salidas contaminantes, clasificadas en residuos sólidos, vertidos líquidos, emisiones atmosféricas y ruido.

## 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La planta de producción de isooctano presenta una capacidad de 15.000 toneladas al año mediante un régimen continuo durante 333 días al año estructurada en las siguientes secciones.

### 1.2.1. SECCIÓN 100: ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

Los reactivos necesarios para la reacción de alquilación son el buteno y el isobutano. Estos compuestos no se presentan puros sino que se obtienen de una refinería junto con otros compuestos como son el propano y el butano. En conjunto, conforman la denominada fracción C<sub>4</sub> del petróleo, obtenido de una refinería. Ambas corrientes se conducen por tuberías en estado líquido hasta la planta, en concreto hasta la sección 100. Ahí tiene lugar el acondicionamiento, compuesto por la estabilidad del caudal y la regulación de temperatura y presión. Comentar que ambos productos se obtienen a 20°C de la refinería. Sin embargo, difieren en que el buteno posee una presión de 3,25 bares porque se introduce fraccionado en los diferentes compartimentos del reactor mientras que el isobutano se obtiene impulsado hasta los 6 bares para su introducción en un tanque de mezcla junto con las recirculaciones del reactivo en exceso.

### 1.2.2. SECCIÓN 200: REACCIÓN Y TRATAMIENTO DEL ÁCIDO SULFÚRICO

Con el objetivo de aumentar la producción de isooctano y reducir la de dodecano, se introduce la corriente de recirculación del reactivo en exceso en el primer compartimento del reactor, en el primer tanque agitado, al igual que el catalizador. Sin embargo, el reactivo limitante, el buteno, se alimenta de manera fraccionada y equimolar en los tres compartimentos ya que interviene también en la reacción secundaria. Durante la producción de isooctano, se libera energía por motivo de la exotermicidad de la reacción. La refrigeración del reactor tiene lugar por la evaporación parcial de los compuestos más volátiles, el propano y el isobutano y estos vapores se eliminan por la parte superior de los compartimentos y se conducen a la sección 300. Por su parte, tras el paso por los tres tanques agitados, la mezcla de hidrocarburos se separa del ácido en el tanque de decantación TK-201, cuarto compartimento del reactor, quedándose en la parte superior por su menor densidad. Esta corriente se conduce a la sección 400. Por último, el ácido resultante se analiza su concentración y, en el caso de que esta se encuentre en el 93% o superior, se recircula al reactor impulsado por la bomba P-201. En caso contrario, se conduce para su regeneración y se añade ácido a la concentración requerida del tanque TK-201, donde se almacena.

### 1.2.3. SECCIÓN 300: PURIFICACIÓN DEL VAPOR Y PURGA DE PROPANO

En esta sección se elimina un caudal de propano equivalente al de la alimentación de las dos corrientes para evitar su acumulación y se recircula la corriente resultante, formada principalmente por isobutano, reactivo en exceso.

Para ello, se precisa, en primer lugar, una condensación de las corrientes de vapor del reactor. Esto se lleva a cabo con la mezcla de las tres salidas por inserción de las dos de los últimos compartimentos, por su menor caudal, en la tubería de la primera. A continuación se introducen en el compresor C-301 y se completa el proceso en el intercambiador de calor EX-301. Tras ello, se le aumenta la presión y la temperatura hasta la de introducción en la columna T-301 valorando las pérdidas. Con tal objetivo, la corriente se impulsa en la bomba P-301 y se calienta en los intercambiadores de calor EX-302 y EX-303, utilizando el primero para el aprovechamiento de la energía de la corriente de colas de la columna de destilación posterior y el segundo para completar el aumento de temperatura. Finalmente, se introduce en la columna de destilación T-301 obteniendo por cabezas el propano, que se vende, y por colas la recirculación del reactivo en exceso que se acondiciona para la recirculación. Esto se produce con un enfriamiento en el intercambiador de calor EX-306, tras una refrigeración parcial en la integración energética anteriormente comentada, y una expansión en la turbina TB-301 aprovechando la energía para su utilización en el compresor C-301.

#### 1.2.4. SECCIÓN 400: PURIFICACIÓN DEL ISOOCTANO

La última sección de la planta posee la función de aumentar la concentración del producto de la corriente de salida del reactor. Para ello se destila en la columna T-401 y se obtiene por colas junto con el pequeño caudal de dodecano. Por cabeza se obtiene, fundamentalmente, el reactivo en exceso que se recircula, junto con propano y por una salida lateral se obtiene el butano, subproducto que se vende.

La corriente de entrada a la columna posee las condiciones óptimas de presión y temperatura tras su paso por la bomba P-401 y los intercambiadores de calor EX-401 y EX-402. El primero de los intercambiadores de calor aprovecha la energía de la corriente de recirculación de la columna T-401 mientras que el segundo completa el calentamiento. Por su parte, esta recirculación se conduce al tanque de mezcla TM-201 para su reintroducción posterior en el reactor.

### 1.3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS VIABLES

#### 1.3.1. JUSTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN

El emplazamiento seleccionado para la ubicación de la planta de producción de isooctano es el Complejo Industrial de Repsol, en Tarragona, por motivo de la excelente comunicación que presenta tanto por carretera y ferrocarril como por vía marítima y aérea.

Comentar también la proximidad con respecto a la refinería, lo que propicia una reducción notable en los costes de transporte y asegura la disponibilidad de energía, agua, luz y demás servicios. Esto lo convierte en un punto estratégico para la instalación de la planta.

#### 1.3.2. TECNOLOGÍA UTILIZADA

Con la finalidad del diseño de la planta se procede a seguir, siempre que sea posible, las denominadas Mejores Técnicas Disponibles (MTD), las cuales se encuentran en el BREF (Best Available Techniques Reference Document) relacionada con el sector correspondiente al objeto de este estudio. Las MTDs se definen como “la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para construir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente”.

Por tanto, concretando en la planta de producción de isooctano, el BREF específico que contiene las MTDs específicas para este sector es el documento denominado “Documento de Referencia de Mejores Técnicas Disponibles sobre el refinado de petróleo y gas natural”.

Este documento presenta, en su capítulo 2, las mejores técnicas disponibles para llevar a cabo la alquilación con el objetivo de producir compuestos de elevada calidad para el *blending* de los combustibles para motores.

Define, en concreto, la alquilación como la reacción de olefinas con isobutano para formar isoparafinas de mayor peso molecular con un elevado índice de octano mediante la presencia de un ácido fuerte y una temperatura baja.

En primer lugar, destacar la alternativa del ácido fluorhídrico como catalizador, la cual presenta una serie una serie de diferencias con respecto al ácido sulfúrico descritas en el BREF:

- Menor consumo energético, tanto de vapor como de agua de refrigeración
- Necesidad de una etapa de lavado de la corriente de hidrocarburos para retirar el ácido en la corriente de vapores del reactor por motivo de su bajo punto de ebullición
- Elevada peligrosidad por su naturaleza severamente corrosiva y los efectos que origina en las personas de quemadura e irritación ocular y de las membranas mucosas.
- Mayor peligro de almacenamiento por su elevada volatilidad comentada.
- Problemas con la presencia de agua en la corriente de entrada, precisando una desecadora.

Por todo ello, destacando los problemas por su punto de ebullición a la presión de operación, se justifica la selección del ácido sulfúrico. Aun así, comentar la existencia de una gran cantidad de plantas químicas a nivel mundial en ambos casos.

Tras esta explicación, se presentan las MTDs aplicadas en el proyecto.

#### 1.3.2.1 PREVENCIÓN Y MINIMIZACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

En lo relativo a la prevención comentar la integración de las consideraciones medioambientales y de seguridad y salida en desarrollo del proceso. También la necesidad de un control riguroso de las condiciones de operación con el objetivo de reducir el desarrollo de la reacción secundaria de polimerización. Además, es necesario la presencia de un decantador a la salida del reactor de alquilación para la separación del ácido y la necesidad de análisis de la corriente de salida por si precisa un lavado cáustico para eliminar pequeñas impurezas del catalizador.

Por su parte la minimización se focaliza en la reducción de las consecuencias negativas sobre el entorno. Ejemplo de ello es la eliminación de vapor por la válvula de alivio en el reactor para casos de sobrepresión con la posterior conducción a un sistema de contención seguro teniendo en cuenta la extremada inflamabilidad de los compuestos. Relacionado con ello, es imprescindible evitar la introducción de impurezas al proceso como puede ser aire. Además se pretende reducir el volumen almacenado y un control riguroso y automático de temperatura y presión.

En lo referido a la contaminación al aire lo más destacado se produce en la alternativa de HF por su mayor presión de vapor en comparación el  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , precisando un tratamiento previo a la destilación con una solución alcalina para evitar posible fugas de este compuestos altamente corrosivo.

Por último, relacionado con el agua, para reducir las emisiones de ácido sulfúrico en la alquilación, la mejor técnica disponible es la reducción del consumo de ácido mediante su regeneración y la neutralización del agua contaminada por este compuesto antes de su tratamiento como agua residual.

#### 1.4. INVENTARIO AMBIENTAL

Esta sección se basa en una descripción del medio donde se instala la planta, con el objetivo de la valoración de los efectos sobre la calidad del ambiente.

Para ello, se analiza la calidad intrínseca de los elementos que conforman el medio siguiendo la legislación, diversidad y productividad del medio considerado los factores descritos a continuación.

##### 1.4.1. CLIMA

El clima es un factor destacado en general y para la selección de la localización de una planta química en particular. Condiciona el ecosistema de la zona, la fauna y la flora, la productividad agraria, la disponibilidad de agua y la estabilidad atmosférica, para influente en el traslado de contaminantes liberados en la planta. Las variables climatológicas más destacadas del último año se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Climatología de la provincia de Tarragona en el 2016

Mes	T media	T <sub>Máx</sub> media	T <sub>min</sub> media	Precipitación	Humedad (%)
<b>Enero</b>	5.5	10.0	0.9	26	81
<b>Febrero</b>	7.7	13.8	1.6	15	71
<b>Marzo</b>	11.3	18.3	4.2	21	62
<b>Abril</b>	13.7	20.7	6.7	39	59
<b>Mayo</b>	17.9	25.0	10.8	42	58
<b>Junio</b>	22.3	29.8	14.7	27	53
<b>Julio</b>	25.2	33.0	17.4	12	52
<b>Agosto</b>	24.9	32.4	17.4	18	56
<b>Septiembre</b>	20.9	27.8	13.9	41	63
<b>Octubre</b>	15.9	22.0	9.7	43	73
<b>Noviembre</b>	9.7	14.9	4.4	30	80
<b>Diciembre</b>	5.7	9.8	1.5	24	84
<b>Año</b>	15.0	21.5	8.6	342	66

A la vista de los resultados se presentan las condiciones óptimas en lo referido a la inexistencia de temperaturas ni abundantes precipitaciones.



### 1.4.2. ATMÓSFERA

Para evitar la contaminación de la atmósfera entendiendo como tal la introducción de sustancias, calor y ruido a la misma pudiendo originar daños materiales, ambientales o sobre la salud humana, se actúa siguiendo el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero junto con la modificación del Real Decreto 678/2014, de 1 de agosto. Según el artículo 1, la finalidad es “Definir y establecer objetivos de calidad del aire, de acuerdo con el anexo III de la Ley 34/2007, con respecto a las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel y benzo(a)pireno en el aire ambiente”. La propia normativa establece los niveles máximos que se pueden presentar en el aire para estos compuestos.

Sin embargo, debido a la calidad del aire, según informes del Ayuntamiento de Tarragona y la contribución nula de la planta de producción de isooctano por no trabajar con estos compuestos, se corrobora la situación de los niveles por debajo de los límites legales y la inexistencia de un peligro ambiental.

### 1.4.3. RUIDO

Este parámetro define la existencia de sonidos molestos por motivo del funcionamiento de la planta de producción de isooctano. Al igual que con el aire, también se presentan niveles acústicos en función del área y del uso del territorio.

Comentar que la planta de producción de isooctano se encuentra en el Complejo Industrial de Repsol, localización apartado de ciudades. Por ello, se puede concluir con que no se generan alteraciones auditivas problemáticas.

### 1.4.4. HIDROLOGÍA

El Complejo Industrial se sitúa en torno a 10 km del puerto de Tarragona, en el Mar Mediterráneo. Aun así, es distancia suficiente como para que, unido a la inexistencia de ríos en las proximidades, se pueda verificar lejanía suficiente a lugares donde se puedan producir una contaminación del agua.

### 1.4.5. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

La población del municipio de Tarragona está en torno a los 131.000 habitantes y presentan gran variedad de alternativas en lo que se refiere a sectores de producción como son el sector industrial, ejemplificado en la refinería de Repsol, el sector servicios y la actividad portuaria.

Mediante la ubicación de la planta en esta región se aumentan los beneficios por la creación de nuevos puestos de trabajo, parte de los cuales serían ocupados por habitantes de la localidad.

## 1.5. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Se procede a la descripción de las acciones que pueden conllevar una alteración de uno o más factores del medio. Para ello, se hace una distinción en varios grupos según dicha acción aparezca en la fase de construcción, en la de explotación o en la de desmantelamiento.

En primer lugar, durante la construcción de la planta existen diferentes procesos que pueden ser fuente de impactos ambientales como la implantación de la obra, el almacenamiento y manipulación de material de obra, el funcionamiento de la maquinaria a motor o la construcción de naves, entre otros. En ellos, se generan materiales en suspensión por motivos de las excavaciones de tierra que dan lugar a polvo y partículas, contribuyendo a generar un impacto ambiental, en concreto a la calidad del aire. También comentar los equipos de construcción que liberan gases con óxidos de nitrógeno y azufre, así de carbono por motivo de sus combustibles. Por su parte, la calidad del agua puede verse menguada por vertidos de aceite y combustibles que pueden acabar contaminando aguas subterráneas. En lo que respecta a los residuos sólidos, comentar los plásticos, residuos metálicos o escombros resultantes de la construcción de la planta. Finalmente, destacar un problema destacado en esta fase como es la contaminación acústica por los niveles alcanzados durante la construcción, focalizándose las consecuencias principalmente en los trabajadores.

En segundo lugar, durante la fase de explotación de la planta los problemas presentan ciertas diferencias. La calidad del aire puede verse afectada por la fuga de compuestos de proceso mientras que el agua puede sufrir las mismas consecuencias por un derrame que se filtra a las aguas subterráneas. Además, la generación de residuos sólido como papel, basura o cartón también puede poseer relevancia. Finalmente, comentar el ruido, que está limitado por normativa.

En tercer y último lugar, comentar la fase de desmantelamiento con el objetivo de la retirada de los equipos y el cierre de la planta tras su vida útil. Por motivo de la demolición de las estructuras se genera una reducción de la calidad del aire ligada a la emisión de partículas a la atmósfera, aunque se estima que no sean cuantiosas. Los efluentes líquidos surgen por el derrame de aceites usados o productos químicos de manera accidental y los residuos sólidos se generan por el desmontaje de los equipos con la consecuente generación de escombros, hormigón armado, elementos metálico y otros. Finalmente la contaminación acústica se produce por los equipos de demolición y la propia actividad.

Se resume lo explicado en las Tabla 1.2 y Tabla 1.3 por la relevancia de esas dos fases, siguiendo el criterio de color posterior:

**Positivo**

**Negativo no destacado**

**Negativo significativo moderado**

**Negativo crítico**



Tabla 1.2. Matriz causa efecto de la fase de construcción

	<b>CONSTRUCCIÓN</b>			
	Acondicionamiento de la tierra	Almacenamiento de material de obra	Funcionamiento de la maquinaria	Construcción de la planta
<b>Clima</b>				
<b>Atmósfera</b>				
<b>Ruido</b>				
<b>Hidrología</b>				
<b>Fauna y flora</b>				
<b>Aspectos socioeconómicos</b>				

Tabla 1.3. Matriz causa efecto de la fase de explotación

	Funcionamiento regular	Funcionamiento anómalo
<b>Clima</b>		
<b>Atmósfera</b>		
<b>Ruido</b>		
<b>Hidrología</b>		
<b>Fauna y flora</b>		
<b>Aspectos socioeconómicos</b>		

## 1.6. MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS

Se procede a la presentación de las principales medidas de carácter preventivo y corrector a tomar para la reducción al mínimo de los impactos ambientales mencionados anteriormente.

### 1.6.1. MEDIDAS PREVENTIVAS DE CARÁCTER GENERAL

#### 1.6.1.1. BUENAS PRÁCTICAS GENERALES DE OBRA

Durante esta fase se adoptan medidas que minimicen las molestias a la población y limiten posibles daños a la calidad del aire, del suelo o del agua. Algunos ejemplos son las tareas de limpieza y mantenimiento de vehículos y maquinaria en obra, evitar ruido innecesario o la reducción de las emisiones de vehículos y maquinaria pesada mediante un buen mantenimiento técnico.

#### **1.6.1.2. SELECCIÓN DE SUMINISTRADORES Y CONTRATISTAS**

En el proceso de selección de suministradores y contratistas decantarse preferentemente por las candidaturas que ofrezcan más garantías de una correcta gestión medioambiental.

Se lleva a cabo una gestión de residuos generados según su naturaleza diferenciando entre los residuos peligrosos, por ejemplo, que presencia una recogida autorizada. Durante el tiempo que pasa desde la producción del residuo hasta su gestión, estos deben estar adecuadamente almacenados en el lugar más adecuado.

#### **1.6.2. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA MINIMIZACIÓN DEL IMPACTO ATMOSFÉRICO**

Diferenciar entre la fase de construcción, donde se pretende reducir el impacto originado a la atmósfera mediante la realización de buenas prácticas que permitan dicha tarea, y la fase de explotación, donde se siguen las mejores técnicas disponibles comentadas anteriormente sobre el proceso de alquilación

#### **1.6.3. MEDIDAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS SOBRE EL SUELO Y EL AGUA**

##### **1.6.3.1. MEDIDAS GENERALES EN OBRA**

Debido a la inexistencia de ríos ni lagos, se focalizan las medidas en la minimización de los daños originados sobre el suelo y las aguas subterráneas.

Para ello, se llevan a cabo las limpiezas de los vehículos en sus lugares correspondientes y se le realizan revisiones periódicas con el objetivo de evitar posible vertidos de combustible o aceite. También se evita el vertido de partículas sólidas en suspensión al agua.

Por su parte, el almacenamiento de materias primas y productos se realiza en el exterior de la nave de producción, con el fin de evitar posibles impactos que puedan causar derrames y las naves deberán tener una solera de hormigón con un espesor suficiente para evitar la filtración de aguas al suelo.

#### 1.6.3.2 PREVENCIÓN DE FUGAS Y DERRAMES

Requiere mención especial las fugas y derrames puesto que los hidrocarburos son sustancias contaminantes en el agua, motivo por el que se mengua el uso del MTBE tras numerosos episodios de contaminación de acuíferos. Este problema, además de las pérdidas de dinero ocasionadas por el vertido del producto a vender, también supone la necesidad de operaciones de limpieza, saneamiento y eliminación de residuos, además del peligro para la salud y el medio ambiente.

Con el objetivo de evitarlo, se cumplen una serie de medidas como, por ejemplo, el almacenamiento, tanto de la planta como de la refinería anexa, de este compuesto en áreas donde la probabilidad de fugas sea menor o realizar estudios de prevención de fugas durante las fases de diseño y operación.

#### 1.6.4. SUSTANCIAS PELIGROSAS

En lo relativo a sustancias peligrosas, es necesario cumplir con lo establecido en el Real Decreto 840/2015, de 12 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y el cual tiene por objeto la prevención de accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, así como la limitación de sus consecuencias con la finalidad de proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente.

#### 1.6.5. MEDIDAS PARA MINIMIZAR EL IMPACTO POR RUIDO

El principal problema relacionado con el impacto acústico se debe a la fase de construcción en la que el movimiento de la maquinaria pesada se produce por un corto periodo de tiempo. Esto unido a que la planta no genera contaminación acústica elevada durante su funcionamiento permite afirmar que no se presenta un problema con este factor.

Aun así, las medidas correctoras que se deben tomar para solucionar este problema se basan en mejorar la fluidez del tráfico y cumplir con las normativas vigentes en cuanto a los niveles de emisión permitidos.

### 1.6.6. MEDIDAS PARA EVITAR ACCIDENTES

Se presenta la legislación seguida con el objetivo de evitar cualquier tipo de accidente:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 780/1998, de 30 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención.
- Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 337/2010, de 19 de marzo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención; el Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción y el Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción.
- Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Se debe realizar un análisis de riesgos para detectar los puntos donde existe una mayor probabilidad de sufrir accidentes.

### 1.6.7. MEDIDAS PARA EVITAR EXPLOSIONES E INCENDIOS

Por motivo de la extrema inflamabilidad de los hidrocarburos ligeros se precisa una especial atención a este aspecto. Por ello, la planta debe cumplir rigurosamente en todo momento con lo establecido en el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. Además, las instalaciones estarán obligadas a elaborar un Plan de Emergencia Interior y estarán sujetas a inspecciones anuales del Departamento de Industria y de visitas periódicas de los Bomberos. Por último comentar que también se actúa según lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).

### 1.6.8. MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN DEL IMPACTO SOCIAL

A pesar de contribuir favorablemente con la economía de la zona, es necesario llevar a cabo campañas de sensibilización con la población cercana con el objetivo de que comprendan la necesidad de la industria para el avance de la sociedad y presentarle la fuerte seguridad con la que se dota la planta con el objetivo de la reducción de la probabilidad de accidente.

### 1.6.9. DESMANTELAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Tras el periodo de vida útil de la planta, se debe proceder a la retirada de los residuos tóxicos o peligrosos indicando el procedimiento a llevar a cabo desde el punto de vista de la seguridad para el medio ambiente, evitando que la contaminación sea transferida de un medio a otro, y para las personas, especificando las medidas de seguridad a tener en cuenta durante los trabajos.

El procedimiento seguido para esta fase del proyecto es el siguiente:

1. Derribo mediante empuje o tracción.
2. Demolición con herramientas manuales.
3. Demolición con martillo rompedor sobre máquina.
4. Utilización de tenazas para rotura.
5. Derribo por golpeo.
6. Fracturación.
7. Demolición por corte y perforación
8. Desmante y desguace.

Finalmente, los materiales resultantes del desmantelamiento de la planta, en función de sus características, se puede comercializar, eliminar en vertederos controlados, utilizar de relleno, reutilizar o recuperar mediante fusión, o ser entregados a un gestor autorizado.

## 1.7. PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL

### 1.7.1. INTRODUCCIÓN

La función que presenta el Programa de Vigilancia Ambiental es la garantía de las medidas expuestas anteriormente mediante el control de los posibles daños que se pueden producir al medio ambiente.

### 1.7.2. ALCANCE

Este programa presenta dos enfoques según se trate de la fase de diseño o el periodo de explotación de la planta. Se plantea de esta segunda manera y los apartados que trata son los siguientes:

- Seguimiento y control de las diferentes actuaciones que se llevan a cabo durante las obras de ejecución del proyecto. Engloba tanto el período de obras como su período de garantía.
- Seguimiento y control de las condiciones ambientales durante la fase de explotación durante un período variable.

El autor del Programa de Vigilancia Ambiental puede ser el Promotor o un equipo encargado por este. El Órgano Competente que realice la Declaración de Impacto Ambiental puede modificar algunos puntos. El Promotor puede delegar también la ejecución de dicho programa a otra empresa subcontratada, la cual puede tener su propio control de calidad para recibir la certificación ambiental según la norma ISO 14.000. En esta ocasión, se lleva a cabo por un entidad ajena a todas las demás implicadas en el diseño del proyecto, y debe estar ligada a la dirección de obra e integrada en la asesoría ambiental de la misma.

Se presentan dos elementos indispensables para la realización del estudio

- Medios humanos: es decir, se realizan las labores de seguimiento por parte de una persona experimentada en el ámbito y con los conocimientos necesarios sobre el medio ambiente para poder llevarlas a cabo. Se presenta también un equipo de consultores para la interpretación posterior de los datos y la adopción de las medidas oportunas para la solución de los problemas surgidos.
- Medios materiales: Equipo de vigilancia precisado en todo momento para el estudio como equipo fotográfico, medidor de caudal, sonómetro, etc.

### 1.7.3. EJECUCIÓN Y OPERACIÓN

La realización del Programa de Vigilancia Ambiental se estructura en las siguientes etapas:

- Especificación de los medios utilizado y preparación del material
- Recogida y almacenamiento de datos de manera periódica
- Análisis e interpretación de los valores recogidos
- Establecimiento de medidas protectoras tras la identificación de impactos
- Mejora de los sistemas de identificación de impacto, retroalimentación
- Elaboración de informes



Durante este proceso se elaboran los siguientes documentos:

- Archivo de medios materiales: se presenta la información relacionada con los medios materiales utilizados en el programa. Se ha de prestar atención a las garantías, fichas técnicas y reparaciones que se realicen.
- Diario de seguimiento ambiental: Se registra la información resultante de las observaciones y acciones realizadas, las incidencias producidas, las acciones llevadas a cabo y el nivel de cumplimiento de las normas o las medidas de seguridad llevadas a cabo. Es un documento que debe encontrarse disponible en todo momento a las autoridades.
- Informes-resumen periódicos: Presenta, de manera resumida, las observaciones y resultados obtenidos, así como las conclusiones y recomendaciones realizadas por la asesoría ambiental durante el programa de vigilancia. Su periodicidad es mensual como mínimo durante la fase de obras, mientras que, para la etapa de explotación, anual.
- Informe anual de medidas correctoras: Se realiza con el objetivo de la eficacia y el grado de implantación de las medidas correctoras y su rendimiento. Se incluye una propuesta de nuevas medidas en caso de insuficiencia de medidas correctoras implantadas o la presencia de nueva tecnología en el mercado para desarrollar mejores procedimientos de corrección

#### 1.7.4. ACTIVIDADES DE SEGUIMIENTO

Se enumera, de manera individualizada para cada uno de los factores más relevantes del medio ambiente, los parámetros a controlar con el objetivo de analizar el impacto ambiental, el objetivo del control y los límites permisibles

##### 1.7.4.1. CLIMA

- Control de las variables climatológicas
- Finalidad: verificar que la planta no genere alteraciones en el clima del entorno con respecto a los valores habituales.
- Ubicación de control: los datos se recogerán de la Agencia Estatal de Meteorología de España.
- Medio de control: recopilación de los datos obtenidos.
- Duración y periodicidad: se llevan a cabo análisis mensuales durante la etapa de construcción y funcionamiento hasta el desmantelamiento tras la vida útil.
- Parámetros de control: temperatura, dirección y velocidad del viento, precipitaciones y humedad relativa.

#### 1.7.4.2. CALIDAD DEL AIRE

- Aspectos a controlar: niveles de emisión del aire
- Finalidad: analizar la influencia de la planta en la calidad del aire, verificando que no se produce ninguna alternación y no se superan los límites legales.
- Ubicación de control: en la propia planta, centrando el análisis en el movimiento de maquinaria durante la obra y en los puntos de control de emisiones durante su funcionamiento.
- Medio de control: analizador de concentración del aire, en concreto de los gases perjudiciales y el correcto funcionamiento de la unidad y de la maquinaria.
- Duración y periodicidad: se lleva a cabo un análisis continuo por su destacada relevancia.
- Parámetros de control: Movimiento de partículas generado durante la obra y concentración de los gases emitidos a la atmósfera.

#### 1.7.4.3. HIDROLOGÍA

- Aspectos a controlar: calidad de las aguas subterráneas.
- Finalidad: Verificar la calidad del agua tras posibles vertidos accidentales o fugas durante las obras así como en la fase de explotación.
- Ubicación de control: en la planta, en la zona de la obra en primer lugar y, posteriormente, en el área de producción.
- Medio de control: corroborar la correcta gestión de residuos y registrar sus volúmenes y concentraciones en el laboratorio
- Duración y periodicidad: de igual manera que con la calidad del aire, la calidad del agua se analiza de manera continuo por la posibilidad de derrames en cualquier momento
- Parámetros de control: manipulación adecuada de los residuos, correcta identificación de los posibles vertidos producidos, orden y limpieza adecuados en la instalación y autorizaciones gestionadas profesionalmente.

#### 1.7.4.4. FLORA Y FAUNA

- Aspectos a controlar: estudio de las especies existente en el lugar, analizando una posible extinción de alguna de ellas por motivo de alternaciones producidas por la instalación, tanto de fauna como de flora.
- Finalidad: verificar que la construcción y funcionamiento de la obra no produzca ninguna alteración en la flora y la fauna del entorno. En caso contrario, tomar medidas correctoras.
- Ubicación de control: en el entorno de la instalación, especialmente durante la obra, ya que durante el funcionamiento solo habrá peligro en caso de vertido accidental o fuga.

- Medio de control: observación de un especialista.
- Duración y periodicidad: se llevan a cabo de manera mensual durante la obra y tan solo cuando se produzca una incidencia durante el funcionamiento.
- Parámetros de control: respuesta ágil y efectiva ante la alteración de la flora o fauna en la zona.

#### 1.7.4.5. RUIDO

- Aspectos a controlar: nivel del ruido.
- Finalidad: controlar que la construcción y funcionamiento de la obra no genere contaminación acústica.
- Ubicación de control: en la propia instalación mediante sonómetros.
- Medio de control: recogida y análisis de los datos del sonómetro
- Duración y periodicidad: de manera semanal durante las obras y al inicio del funcionamiento de la planta o cuando se produzca alguna incidencia.
- Parámetros de control: los niveles máximos establecidos por normativa.

### 1.8. RESUMEN

El estudio del impacto ambiental de la planta de producción de isooctano se realiza con el objetivo de analizar las posibles salidas de la instalación durante las fases de construcción, operación y desmantelamiento.

Tras una breve contextualización del estudio mediante la descripción de la planta, se analizan las alternativas viables para la alquiler según las MTDs contenidas en el BREF que compete a esta planta. Posteriormente, se presenta el inventario ambiental con los elementos sujetos de afectación por la instalación de la planta y sus condiciones normales en esa zona. Posteriormente se identifican y valoran los impactos que puede generar la planta y se las medidas que se adoptan para prevenirlo o, cuanto menos, reducirlos al mínimo posible.

Se finaliza el estudio con el Programa de Vigilancia Ambiental elaborando un sistema de control de los impactos individualizados.

## 1.9. CONCLUSIONES

Mediante un análisis de los resultados obtenido por el estudio, se lleva a cabo una valoración global del impacto que conlleva el proyecto. De modo general, afirmar que no se generan efectos incompatibles, primero por la presencia de una refinería anexa que sigue el mismo protocolo y no propicia impactos ambientales problemáticos y, en segundo lugar, por la naturaleza del proceso de producción de isooctano.

Se enumeran los impactos más destacados:

- Ruido producido durante la fase de construcción, propio de maquinaria utilizada para excavaciones.
- Liberación de partículas en suspensión durante las obras.
- Riesgo de accidente por circulación de maquinarias, en concreto de los equipos de proceso.
- Extremada inflamabilidad de los hidrocarburos ligeros que puede desencadenar en incendio o explosión.
- Toxicidad elevada del ácido sulfúrico utilizada en elevada concentración como catalizador.
- Liberación de fluido tanto al aire como al agua subterránea por fuga o derrame.

Sin embargo, es necesario comentar también efectos beneficiosos en la zona como la disminución de la tasa de paro por la generación de nuevos puestos de trabajo. Además los impactos ambientales posibles se pueden eliminar o, por lo menos, reducir sus efectos, mediante un programa de vigilancia ambiental que monitorice la implantación de medidas de protección.

## 2. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

### 2.1. INTRODUCCIÓN

A continuación se procede a la elaboración de un estudio de seguridad y salud con el objetivo de servir de base para la posterior redacción del Plan de Seguridad y Salud en el trabajo. Por tanto, se lleva a cabo la descripción de las condiciones y consideraciones mínimas de seguridad y salud para los productos, equipos y dispositivos presentes en el proceso.

### 2.2. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO

El avance tecnológico actual de la industria, además de enfocarse en aumentar el rendimiento de las plantas, persigue también el objetivo de garantizar la seguridad de los trabajadores.

Existen organizaciones específicas destinadas a este ámbito como la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de Salud (OMS). En lo referido a legislación española, citar la Ley de Prevención de Riesgos Laborales en 1995 que otorga la importancia que requiere a la higiene en el trabajo, la prevención como medida de seguridad, el posible daño en los trabajadores desde el punto de vista de la ergonomía y psicología y el control de la salud de los trabajadores.

Se verifica así la concienciación de la importancia de la seguridad y la salud en el trabajo. Con tal motivo se presenta este estudio, conformado por un conjunto de documentos que complementan al proyecto de ejecución y permite comprender la problemática que genera la obra relacionada con la seguridad y salud de los trabajadores con las consecuentes medidas preventivas.

Atendiendo a lo expuesto en el artículo 4, 5 y 17 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, se establecen los requisitos mínimos de seguridad y salud. Siguiendo lo descrito en él se elabora este estudio con el objetivo de evitar situaciones peligrosas ocasionadas por falta de medios o improvisación, garantizar la salud e integridad física de los trabajadores, delimitar y esclarecer atribuciones y responsabilidades en materia de seguridad y determinar costes de protección y prevención. Además, se especifican las medidas de protección, se detectan los campos de riesgo derivados de la ejecución de la obra y aplicar las técnicas de ejecución que los reduzcan.

### 2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA

Se procede a la explicación de los parámetros influyentes en la construcción en la construcción de una planta de producción de isooctano a partir de la fracción C<sub>4</sub> del petróleo presente en el Complejo Industrial de Repsol, situado en Tarragona.

### 2.3.1. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

Las fases que presenta el proceso de construcción se detallan a continuación.

1. **Reconocimiento de las obras por el Contratista**, acompañado de la Propiedad o de la Dirección Técnica de Obra. Es fundamental que el Contratista Adjudicatario de la construcción de la obra la visite con personal de la propiedad, con el objetivo de que tenga una idea real de lo que debe hacer y para así emitir un presupuesto coherente con las características de la obra y comprobar si se dispone de los medios, maquinaria y personal adecuado para realizar todos los trabajos.
2. **Organización previa de los trabajos por parte del Contratista Adjudicatario** en conjunto con la Dirección Técnica y el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución, con el objeto de elaborar las directrices adecuadas a cada tipo de obra.  
En esta fase, el Contratista deberá marcar una planificación de sus trabajos, incluyéndola dentro de su Plan de Seguridad y Salud, así como evaluar los riesgos de la actividad que se va a acometer. Dicho Plan de Seguridad y Salud será aprobado por el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución.
3. **Obtención de las autorizaciones y documentos legales** necesarios para llevar a cabo los trabajos.
4. **Organización de la zona de obra.** Una vez conocida la problemática de la obra, evaluados los riesgos por parte del contratista y teniendo claro el procedimiento de actuación, se procederá a organizar el lugar de obra, teniendo en cuenta lo presentado a continuación
  - Acceso a la obra (tráfico rodado, peones, personal, etc.)
  - Interferencia con los servicios afectados (agua, gas, electricidad, teléfono, etc.) que puedan derivar de la ejecución de los trabajos
  - Provisiones de material de construcción
  - Localización de la maquinaria necesaria para los trabajos de construcción
  - Extintores de incendios
  - Accesos a la maquinaria pesada (grúas autopropulsadas) a la hora de situar la maquinaria en las instalaciones (posición y radio de acción de las grúas, etc.)
5. **Unidades de construcción previstas en la obra.**
  - Organización del solar donde se va a ejecutar el montaje
  - Recepción de maquinaria, medios auxiliares y herramientas
  - Excavación de tierras y rellenos

- Colocación de depósitos
- Montaje de equipos y tuberías
- Soldaduras y comprobación de las mismas
- Colocación de válvulas, accesorios y equipos de medida y control
- Obras complementarias y remates
- Trabajos en vías públicas de carácter ocasional

**6. Desarrollo de los trabajos entre los que se incluyen:**

- Cimentaciones
- Cerramientos y albañilería
- Instalaciones eléctricas
- Medios auxiliares: andamios y escaleras
- Colocación de los anclajes y depósitos
- Soldaduras
- Comprobación de las soldaduras por Rayos X
- Colocación de válvulas, accesorios y equipos de medida y/o control

**7. Tipología y características de los materiales y elementos.**

- Vallado de las obras
- Equipos
- Válvulas y tuberías
- Maquinaria pesada , pequeña y herramientas

**8. Unidades constructivas de la obra.**

- Organización del terreno de la obra: visita previa, organización del espacio y de los trabajadores.
- Recepción de la diferente maquinaria, medios auxiliares y herramientas precisas para la realización de los trabajos.
- Adecuación del terreo mediante la realización de movimientos de tierra y excavaciones.
- Colocación de los diversos equipos, tuberías y depósitos.
- Soldaduras y su correspondiente comprobación.
- Instalación de los diversos dispositivos que conforman el sistema de control y la instrumentación de la instalación.
- Trabajo en vías públicas, cuando sea necesario solucionar cualquier problema ocasionado durante la realización de las obras.

**9. Trabajo rodado.** Relacionado con la manera de efectuar las ocupaciones, no se puede cortar ninguna calle ni estrechar sus calzadas a menos de 3 metros libres. Sin embargo, se puede condicionar con el consentimiento del Ayuntamiento o Comunidad de Vecinos correspondiente.

**10. Oficios cuya intervención es objeto de la prevención de riesgos laborales**

- Albañilería
- Montadores
- Maquinistas

**11. Medios auxiliares para la realización de la obra.** Requerimiento de su perfecto estado de mantenimiento para utilizarlo. Pueden Comprarse o alquilarse al contratista.

- Andamios
- Escaleras de mano
- Cuerdas, pequeño material auxiliar, etc.
- Cables

**12. Maquinaria prevista para la realización de la obra.**

- Camión de transporte de materiales
- Camión grúa (carga de material de desecho)
- Grúa auto transportadora (elevación y descarga de equipos)
- Maquinaria en general (radiales, cizallas, cortadoras y similares)
- Rozadora radial eléctrica
- Compresor móvil
- Apisonadora

**13. Superficie prevista para acopios y talleres.**

Estimación del área precisada para acopio de material de montaje con el objetivo de la reducción del espacio. No se precisan talleres para esta planta pero, en caso de precisarlo se procede a la indicación del mejor lugar para su ubicación.

**14. Limpieza y recogida de escombros**

Tras finalizar la jornada de trabajo, el empleado será el encargado de recoger los escombros y desechos que se generen en cada zona durante la ejecución de la obra. A continuación, uno o varios dumpers se encargarán de transportar los escombros para depositarlos junto a las casetas de obra, en lugares indicados para dicha acción. Parte de ellos se queman y el resto se trasladan a un vertedero.

En los planos de seguridad, se presenta el lugar habilitado para el acopio de los escombros, así como el lugar dispuesto para poder quemar algún tipo de escombros.



**15. Almacenamiento y depósito de materiales y elementos de obra**

Es necesario habilitar locales o casetas de almacenamiento de materiales y elementos de obra. El lugar de su acopio estará a una distancia tal que facilite su accesibilidad en caso de necesidad. El almacenaje se produce a la intemperie, pero si se moja no se podrá utilizar hasta que se seque por completo. Por otro lado, las maderas y materiales para los encofrados se almacenarán en un local cerrado y protegido del exterior para impedir que se mojen, igual que los sacos de cemento y mortero prefabricado.

Las tuberías se acopiarán en función del tipo de material y en un local delimitado en todo su perímetro y a la intemperie. Se acopiarán en los paquetes que vienen de fábrica, colocados de tal manera que se impida la caída de los tubos, pudiendo provocar accidentes.

Todo el conjunto de válvulas se almacena en un local totalmente cerrado y protegido del exterior, agrupándola según el tipo que sea y se encuentra próximo a las casetas de los trabajadores para facilitar su accesibilidad.

Por último, si en la instalación se utilizan materiales tóxicos y/o inflamables para alguna actividad de la obra, se deberán guardar en una caseta independiente y de forma individual, con su debido etiquetado.

**16. Delimitación de espacios y lugares o zonas de paso y circulación de la obra**

Se procede a la delimitación de los espacios destinados a la circulación de la maquinaria y camiones por toda la obra en función de las diferentes actividades a ejecutar y se independizan las zonas de circulación de vehículos y de personal de obra mediante el empleo de cintas de señalización y vallado de obra. Cada cierta distancia, para facilitar la circulación y delimitación de las diferentes zonas, se colocan balizamientos luminosos que sirven en tiempo de poca luz natural.

En el caso de prever que en la circulación interna de obra, así como en el acceso y salida de vehículos a la vía exterior, se generen puntos conflictivos, se dispondrán señalizadores que faciliten la circulación.

Cuando se produzca una situación característica no prevista en un principio, se señalará y delimitará la zona afectada con los medios que se consideren necesarios.

**17. Mantenimiento y limpieza de los servicios durante la obra**

Se precisa la elaboración y aplicación de un programa adecuado de orden y limpieza por parte del contratista mediante la contratación de un servicio ajeno dedicado a la limpieza de los comedores y de los vestuarios. Esta limpieza se lleva a cabo dos veces al día, una después de la jornada de mañana y otra tras el final de la jornada laboral.

En complemento al servicio de limpieza, se nombra por parte del Contratista un retén de dos operarios para auxiliar el servicio de limpieza en previsión de posibles emergencias. Asimismo, se controla el buen uso de las instalaciones así como su mantenimiento en previsión de posibles reparaciones y conservación. Este equipo de retén será el responsable de su conservación y mantenimiento para evitar el abuso en el uso de las instalaciones.

## 2.4. ANÁLISIS DE RIESGOS

### 2.4.1. INTRODUCCIÓN

Se procede a la identificación de riesgos presentes en la obra por motivo de la tecnología y organización prevista para la construcción según indica el Real Decreto 1627/1997. Estos parámetros pueden ser modificados a voluntad del Contratista, el cual deberá reflejar los cambios en su Plan de Seguridad y Salud, adaptado a ellas.

En todo caso, los riesgos analizados se eliminan o disminuyen mediante la propuesta de soluciones constructivas, de organización, protecciones colectivas necesarias, equipos de protección individual y señalización oportunos para su neutralización o reducción a la categoría de: “riesgo trivial”, “riesgo tolerable” o “riesgo moderado”.

Se procede a la presentación de los diferentes aspectos más comunes a considerar en el análisis de riesgos, cuyo éxito es función del nivel de seguridad que se alcance durante el desarrollo de la obra.

### 2.4.2. RIESGOS DETECTABLES MÁS COMUNES

#### 2.4.2.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Por movimiento de tierras se entiende la explanación, relleno y compactación de tierras. Los riesgos más destacados son:

- Desprendimiento de materiales (tierra, piedras, etc.)
- Vuelco en maniobras de carga y descarga
- Accidentes durante la circulación de vehículos
- Atropellos de peones
- Accidentes por conducción en ambientes o terrenos adversos
- Inhalación de polvo o partículas en suspensión
- Situaciones de riesgo asociadas al desarrollo de otras actividades en las proximidades

#### 2.4.2.2 CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS

Esta sección abarca los riesgos específicos referidos a las actividades posteriores de cimentación mediante encofrados y preparación de estructuras auxiliares. Los más importantes son los siguientes:

- Sobreesfuerzos
- Pisadas sobre objetos punzantes
- Caídas a distinto nivel o en altura
- Caídas al mismo nivel
- Dermatitis por contacto con el cemento
- Inhalación de polvo de cemento
- Cortes con bordes de las estructuras
- Vibraciones
- Ruido

#### 2.4.2.3 TRABAJOS EN ALTURA

Este apartado hace referencia a las actividades realizadas sobre andamios y escaleras. Los riesgos principales son:

- Caídas
- Deslizamientos y resbalones
- Heridas por golpes o cortes
- Trabajos en condiciones ambientales adversas
- Riesgos a terceros por caída de objetos desde altura

#### 2.4.2.4 TRABAJOS DE ALBAÑILERÍA

Este apartado comprende los riesgos asociados al trabajo con tuberías o válvulas:

- Heridas por golpes o cortes
- Sobreesfuerzos
- Caídas a distinto nivel
- Caídas al mismo nivel

#### 2.4.2.5 TRABAJOS DE SOLDADURA Y OXICORTE

Se incluyen los trabajos de soldadura que se llevan a cabo sobre superficies metálicas durante la construcción de la planta. Los principales riesgos asociados son:

- Daños oculares y dérmicos
- Explosiones
- Choque eléctrico
- Cortes
- Exposición a humos y gases tóxicos
- Sobreesfuerzos

#### 2.4.2.6 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Los riesgos más importantes asociados al trabajo con electricidad son:

- Choque eléctrico
- Caídas

#### 2.4.2.7 INSTALACIONES FINALES

En este apartado se incluyen todas las actividades que pueden ser realizadas hasta la finalización del período de obra además de las ya comentadas, como la colocación de los elementos interiores, amueblado de la instalación o limpieza final. Los principales riesgos asociados son:

- Caídas
- Heridas por golpes o cortes
- Sobreesfuerzos
- Inhalación de polvo o partículas
- Caída de objetos en altura

### 2.5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Tras la presentación de los riesgos posibles, se procede a la explicación de las medidas de seguridad preventivas a adoptar con la finalidad de evitarlos. Estas se clasifican según se trate de protección individual o colectiva para las personas, así como para el caso de la maquinaria de obra.

El objetivo es minimizar los accidentes laborales, los cuales suponen un coste humano y económico para el accidentado, la empresa y la sociedad, por lo que es necesario dedicar una especial importancia a su prevención. Es por ello que, principalmente, será necesaria la formación previa del personal para que tenga un conocimiento de los riesgos a los que se expone y tome conciencia de su prevención.

### 2.5.1. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI'S)

Estos equipos se encuentran regulados por el R.D. 773/1997, de 30 de mayo, sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud relativas a la utilización por parte de los trabajadores de equipos de protección individual. La definición aportada por este Real Decreto es “cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin”.

Todos los EPI'S dispondrán del marcado “CE” y se colocará de forma visible, legible e indeleble, durante el periodo de duración previsible o de vida útil. El marcado estará compuesto de las iniciales “CE” diseñadas según la figura que se incluye en el R.D. 159/1995. Todos los trabajos sin exclusión de especialidades o categorías, están obligados a utilizar y conservar las prendas de protección individuales que sean de aplicación al trabajo que se vaya a realizar. El adjudicatario entregará a su personal todos los medios de protección individual necesarios, reponiéndolos en caso de deterioro.

A continuación se comentan los aspectos más relevantes de cada uno de los EPI's existentes.

#### 2.5.1.1 CASCOS

Los cascos serán de polietileno rígido, provistos de arnés regulable y bandas de amortiguación. Para los trabajadores con riesgo de caída de objetos sobre la cabeza será imprescindible el uso de casco. Éste puede ser con o sin barboquejo, dependiendo de si el operario deba o no agacharse. Los cascos serán homologados, debiendo cumplir las condiciones impuestas por las Normas Técnicas de Prevención del Ministerio de Trabajo MT-1.

#### 2.5.1.2 GUANTES DE SEGURIDAD

Los guantes estarán confeccionados en materiales naturales o sintéticos, no rígidos, impermeables y de características mecánicas adecuadas. Se deberán desechar aquellos con orificios, grietas o cualquier deformación o imperfección que merme sus propiedades. El tipo de guante de seguridad que se utilizará dependerá del tipo de trabajo que se vaya a realizar y de la clase de productos manipulados. Los guantes que se pueden emplear son:

- Guantes de neopreno: cuando se manejan hormigones, morteros, y yesos u otras sustancias tóxicas formadas por aglomerados hidráulicos.
- Guantes de cuero: para manejar los materiales que normalmente se utilizan en la obra.
- Guantes aislantes, baja tensión: se utilizarán cuando se manejen circuitos eléctricos o máquinas que estén o tengan posibilidad de estar con tensión.
- Guantes para soldador: para trabajos de soldadura.

### 2.5.1.3 BOTAS REFORZADAS DE SEGURIDAD

Presentan dos alternativas:

- Botas de seguridad reforzadas: están compuestas por la bota propiamente dicha, hecha en cuero, la puntera reforzada interiormente con plancha metálica que impida el aplastamiento de los dedos en el caso de caída de objetos pesados sobre ellas, y suela metálica que impida el paso de los elementos punzantes a su través, revestida exteriormente con el suelo antideslizante. Estarán diseñadas para ofrecer protección frente al impacto cuando se ensaya con un nivel de energía de 200J.
- Botas impermeables: están compuestas por material de caucho o goma en una sola pieza, revestidas en el interior por felpilla que recoja el sudor. Se utilizarán en trabajos en los que exista agua o humedad, debiendo secarse cuando varíen las condiciones de trabajo.

### 2.5.1.4 GAFAS DE PROTECCIÓN

Se usarán en los trabajos con riesgo de impacto de partículas, salpicaduras de polvo (cemento, riegos, etc.), atmósferas contaminadas, etc. Estas gafas de protección tendrán, además de unos oculares de resistencia adecuada, un diseño de montura y unos elementos adicionales, a fin de proteger el ojo en cualquier dirección, superior, temporal e inferior.

### 2.5.1.5 PANTALLAS DE PROTECCIÓN

Se emplearán este tipo de pantallas en labores que consistan en soldadura. El armazón está fabricado en materiales opacos a las radiaciones. Están provistos de filtros u oculares filtrantes adecuados a la intensidad de las radiaciones existentes en el lugar de trabajo. Delante llevará sobre el filtro un cubrefiltro, cuya misión es la de preservar el primero de los posibles riesgos mecánicos y detrás del filtro un antecristal destinado a preservar el ojo del trabajador contra partículas que puedan existir en el ambiente laboral.

### 2.5.1.6 ROPA DE PROTECCIÓN

La ropa de protección cubrirá la totalidad del cuerpo. Como norma general cumplirá los siguientes requisitos:

- Será de tejido ligero y flexible
- Permitirá una fácil limpieza y desinfección
- Se ajustará bien al cuerpo sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos

Se eliminará en lo posible el uso de elementos adicionales como cordones, botones, partes vueltas cara arriba, etc. con el fin de evitar enganches y la acumulación de suciedad.

Para la protección de los operarios contra el calor se emplearán trajes en cuero. Para la protección de los operarios contra el frío se emplearán prendas a base de tejidos acolchados con materiales aislantes. Se dispondrán prendas de señalización tales como cinturones, brazaletes, guantes, chalecos, etc; para ser utilizados en lugares de poca iluminación, trabajos nocturnos, donde existan riesgos de colisión, atropellos, etc.

#### 2.5.1.7 PROTECCIÓN ANTICAÍDAS

Los equipos se clasifican en:

- Sistemas de sujeción: destinados a sujetar al trabajador mientras realiza un trabajo en altura (cinturón de sujeción). Se empleará en aquellos casos en los que el usuario no necesite desplazarse. El elemento de amarre del cinturón debe estar siempre tenso.
- Sistemas anticaídas: constan de un arnés anticaídas, un elemento de amarre y una serie de conectores (argollas, mosquetones, etc.). Este dispositivo frena y detiene la caída libre de un operario. Para disminuir la caída libre se acortará el elemento de amarre.
- Dispositivos anticaídas: constan de un arnés anticaídas y un sistema de bloqueo automático. Puede ser deslizante o retráctil.

Los cinturones empleados pueden ser de tres tipos:

- Cinturón clase A: compuesto por una faja o arnés, con elemento de amarre y mosquetón de seguridad, provisto de una o dos zonas de conexión. Debe estar homologado de acuerdo con las Normas Técnicas de Prevención del Ministerio de Trabajo MT-9.
- Cinturón clase C: compuesto por una faja, arnés torácico, elemento de amarre con mosquetón de seguridad y dispositivo anticaídas. Se emplearán en trabajos que requieran un desplazamiento del operario de manera que no pueda permanecer a distancia constante del punto de amarre o cable fijador.
- Cinturón antivibratorio: compuesto por una faja de doble lona de sarga de algodón pegada, con objetos metálicos que permitan la transpiración y refuerzos de skay en zonas vitales. Estos cinturones antivibratorios serán utilizados por conductores de maquinaria en movimiento de tierras o camiones, así como operarios que deben utilizar de manera prolongada martillos perforadores o picadores neumáticos.

#### 2.5.1.8 PROTECCIONES AUDITIVAS

Se podrán utilizar de dos tipos diferentes:

- Protectores externos (orejeras): cubren totalmente el pabellón auditivo, constan de dos casquetes y arnés de fijación con una almohadilla absorbente y un cojín para la adaptación a la oreja.
- Protectores internos (tapones): se introducen en el canal externo del oído. Su poder de atenuación es menor que el de las orejeras. Son fáciles de transportar, confortables y facilitan el movimiento en el trabajo.

Para elegir correctamente el protector auditivo es necesario comenzar con analizar y valorar el riesgo de ruido, determinando los valores y los tiempos de exposición de los trabajadores.

#### 2.5.1.9 MASCARILLAS AUTOFILTRANTES

Tienen la función de proporcionar al trabajador que se encuentra en un ambiente contaminado el aire que precisa para respirar en debidas condiciones higiénicas. Se utilizan en todos los trabajos en los que se produzca polvillo que pueda afectar a las vías respiratorias, como picado con martillos neumáticos, uso de rebarbadoras, mesas de corte circular, etc.

Las mascarillas estarán compuestas por cuerpo de la mascarilla, arnés de sujeción de dos bandas ajustables y válvula de exhalación, debiendo estar homologada según las Normas Técnicas de Prevención del Ministerio de Trabajo MT-13.

#### 2.5.2. MEDIDAS DE PROTECCIÓN COLECTIVAS

Evitar el riesgo no se conseguirá únicamente con la adecuada planificación y ejecución de protecciones individuales. Es necesario, por tanto, adoptar medidas y elementos protectores de carácter colectivo. Estas protecciones consistirán en señalizaciones de peligro, señalizaciones de zonas inseguras, pasarelas para acceso a los tajos, andamios, zonas de paso protegidas o sistemas adecuados de iluminación.

Los elementos de protección colectiva permanecerán en todo momento instalados y en perfecto estado de mantenimiento. En caso de rotura o deterioro se deberán reponer con la mayor diligencia.



#### 2.5.2.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Prohibida la circulación de personal dentro del radio de acción de la maquinaria.
- La circulación del personal y vehículos estará restringida a rutas previamente diseñadas y señalizadas.
- Mantenimiento y cuidado de las vías de circulación.
- Todo el personal que maneje vehículos o cualquier otra maquinaria debe estar en posesión de la correspondiente Certificación de Capacitación.
- Revisión periódica de los vehículos y maquinaria.
- Prohibido el transporte de personal fuera de la cabina de conducción del vehículo.

#### 2.5.2.2 ENCOFRADOS Y ESTRUCTURAS

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Prohibida la circulación de personal dentro del radio de acción de la maquinaria. El desencofrado se realizará con ayuda de uñas metálicas.
- Las barras se almacenarán ordenadamente y no interceptarán pasos.
- Las zonas de trabajos se mantendrán limpias y ordenadas.
- El camión hormigonera será calzado convenientemente durante el vertido del hormigón.
- Establecimiento de zonas de paso seguras para el personal encargado del vertido de hormigón.
- Correcto equilibrio de andamios y otras estructuras que impidan su desplome y el consiguiente accidente.
- Medidas adicionales durante el trabajo con el cemento fresco e inestable.

#### 2.5.2.3 TRABAJOS EN ALTURA

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Las plataformas, andamios y pasarelas que supongan para los trabajadores un riesgo de caída de altura superior a 2 metros, se protegerán mediante barandillas de protección.
- Los trabajos en altura que así lo permitan se realizarán con ayuda de equipos diseñados para tal fin.
- Capacitación del personal.
- Verificación del correcto estado e instalación de los distintos medios empleados.

#### 2.5.2.4 TRABAJOS DE ALBAÑILERÍA

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Conocer detalladamente las estructuras de tuberías subterráneas que pudiera haber para que no se vean afectadas.
- Realizar las señalizaciones oportunas y equiparse adecuadamente para acceder a zanjas profundas.
- Colocar los tubos adecuadamente y sujetos, para evitar su desplazamiento.
- Emplear detectores de gases ante posibles fugas de tuberías subterráneas.

#### 2.5.2.5 TRABAJOS DE SOLDADURA

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Empleo de los sistemas de extracción local, ventilación general y protección sanitaria del personal, según sea el caso.
- Prohibido el uso de grasas en la manipulación de las botellas de oxígeno.
- Las botellas o bombonas se almacenarán en posición vertical, convenientemente separadas entre sí, y a cubierto de las inclemencias del tiempo.
- Correcta capacitación del personal.

#### 2.5.2.6 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica debe ajustarse al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y ser realizado por un instalador homologado.

- Las tomas de corriente estarán provistas de neutro de enclavamiento y serán blindadas.
- En los trabajos en condiciones de humedad muy elevada, es preciso el empleo de transformador portátil de seguridad de 24V o protección mediante transformador de separación de circuitos.
- Cuando existan líneas de tendido eléctrico aéreas que puedan afectar a la seguridad en la obra será necesario desviarlas fuera del recinto de la obra o dejarlas sin tensión. Si esto no fuera posible, se colocarán barreras o avisos para que los vehículos y las instalaciones se mantengan alejados de las mismas.

#### 2.5.2.7 INSTALACIONES FINALES

- Mantener las herramientas y máquinas en buen estado.
- Evitar trabajar con más peso del recomendado.

### 2.5.2.8 TRABAJOS CON MAQUINARIA

- Serán siempre realizados por operarios capacitados para ello.
- Se mantendrán siempre en buen estado técnico y con una correcta limpieza.
- Se cumplirán siempre las normas del Reglamento de Seguridad en Máquinas para evitar accidentes
- Los trabajos y el movimiento de la maquinaria será realizados dentro de los límites señalizados para este fin.

### 2.5.2.9 SEÑALIZACIÓN

La normativa vigente establece una serie de características sobre las dimensiones, colores, símbolos y formas de las señales que proporcionan una determinada información clara relativa a la seguridad. Los pictogramas serán lo más sencillos posible, evitándose detalles inútiles para su comprensión. Las señales se instalarán preferentemente a una altura y en una posición apropiadas en relación al ángulo visual, teniendo en cuenta posibles obstáculos, en la proximidad inmediata del riesgo u objeto que deba señalizarse o, cuando se trate de un riesgo general, en el acceso a la zona de riesgo.

Según el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, se diferencian los siguientes tipos de señales existentes:

- Señales de advertencia. Tendrán forma triangular. Pictograma negro sobre fondo amarillo (el amarillo deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal), con bordes negros. Como excepción, el fondo de la señal sobre “materias nocivas o irritantes” será de color naranja, en lugar de amarillo, para evitar confusiones con otras señales similares utilizadas para la regulación del tráfico por carretera.
- Señales de prohibición. Tendrán forma redonda. Pictograma negro sobre fondo blanco, con bordes y banda rojo.
- Señales de obligación. Tendrán forma redonda. Pictograma blanco sobre fondo azul (el azul deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal).
- Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios. Tendrán forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal).
- Señales de salvamento o socorro. Tendrán forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo verde (el verde deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal).

Para la señalización de zonas con riesgo de caídas, choques o golpes de colocará una cinta con franjas alternas amarillas y negras, con una inclinación aproximada de 45°.

### 2.5.2.10 ANDAMIOS

Los andamios tendrán que armarse y organizarse de manera adecuada para asegurar su estabilidad y permitir que los trabajadores puedan permanecer en ellos con las debidas condiciones de seguridad.

Antes de su primera utilización, deberán ser sometidos a la práctica de un reconocimiento y a una prueba a plena carga por una persona competente.

Son más seguros los andamios de última generación fabricados en acero galvanizado. Es más seguro acceder a las plataformas de trabajo a través de escaleras de mano montadas entre ellas según los modelos así comercializados.

El andamio se montará con todos sus componentes. Los que no existieran serán solicitados al fabricante para su instalación. Los montadores se atenderán estrictamente a las instrucciones del manual de montaje y mantenimiento dadas por el fabricante del modelo de andamios metálicos modulares a montar. La anchura del andamio será la necesaria para permitir una buena circulación de los trabajadores y el adecuado almacenamiento de las herramientas y materiales que se necesiten.

Las plataformas de trabajo estarán cercadas con barandillas perimetrales componentes suministrados por el fabricante del andamio para tal menester, con las siguientes dimensiones generales: 100 cm de altura, conseguidos por la barra pasamanos, barra intermedia y rodapié de 15 cm, de chapa o de madera.

Los componentes del andamio estarán libres de oxidaciones graves, aquellas que realmente mermen su resistencia. El andamio no se utilizará por los trabajadores hasta el momento en el que, comprobada su seguridad por el Encargado, éste autorice el acceso al mismo.

### 2.5.2.11 PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS DE PERSONAS Y/U OBJETOS

Para la protección de personas y objetos contra las caídas, existen determinados elementos:

- Tapas de aberturas. Son tableros que se colocan en los huecos horizontales de servicios y patinejos.
- Barandillas de protección. Se colocan en el perímetro de huecos verticales y plataformas de trabajo siempre que exista un desnivel superior a 2 metros.
- Redes de seguridad. Sus dimensiones se ajustarán al hueco a proteger y estarán fabricadas en poliamida de alta densidad.
- Escaleras portátiles. Serán preferentemente de aluminio o hierro y estarán dotadas de zapatas y reunirán las garantías necesarias de solidez, estabilidad y seguridad.
-

#### 2.5.2.12 ESCALERAS DE MANO

Los largueros serán de una sola pieza y estarán sin deformaciones o abolladuras. Estarán pintadas con pinturas antioxidantes. No presentarán uniones soldadas y cualquier suplemento se realizará con dispositivos adecuados.

Tendrán una longitud máxima de 5 m a salvar. En su extremo inferior presentarán unas zapatas antideslizantes de seguridad y en su parte de apoyo superior estarán firmemente ancladas. Se colocarán de tal forma que su apoyo inferior diste de la proyección vertical del superior  $\frac{1}{4}$  de la longitud del larguero entre apoyos.

Cuando hay que salvar más de 3 m de altura, el ascenso y descenso se efectuará dotando al operario de cinturón de seguridad amarrado a un cable de seguridad paralelo.

#### 2.5.2.13 PUNTALES

Los puntales se dispondrán sobre durmientes de madera nivelados y aplomados. Los tabloncillos durmientes de apoyo de los puntales que deban trabajar inclinados con respecto a la vertical serán acunados. Los puntales se clavarán al durmiente y a la solapa para conseguir una mayor estabilidad. La superficie del lugar de apoyo estará perfectamente consolidada. El reparto de la carga sobre las superficies de apuntaladas se realizará uniformemente repartido.

Estarán en perfectas condiciones de mantenimiento con ausencia de óxido, pintados con todos sus componentes. Carecerán de deformaciones en el fuste (abolladuras o torcimientos). Los puntales se izarán o descenderán en paquetes fijados por dos extremos suspendidos por eslingas.

#### 2.5.2.14. VALLAS

Los tipos de vallas a colocar serán de tres tipos: vallas de protección de peatones, valla de cerramiento de obra y valla de cabeza de vaciado. En función de la actividad a ejecutar se colocarán distintos tipos de vallas.

El vallado de cerramiento de la obra tendrá una altura de 2,00 m y se situará como mínimo a 1,50 m de la cabeza de la excavación. Podrán permitir la visibilidad o ser ciegas. Las vallas de protección del talud serán de las siguientes características: todas las barandillas constarán de un pasamanos colocado a 90 cm de altura, un listón intermedio a 45 cm aproximadamente y un rodapié de 15 cm. Esta valla deberá estar suficientemente retirada del borde para que no se produzcan desprendimientos de tierras en su colocación.

#### 2.5.2.15 CADENAS

La carga máxima de trabajo de una cadena no debe exceder de  $1/5$  de su carga de rotura efectiva. Se desechará cualquier cadena cuyo diámetro se haya reducido en más de un 5% por efecto del desgaste o que tenga algún eslabón doblado, aplastado o estirado. No se emplearán cadenas con deformaciones, alargamientos, desgastes, eslabones rotos, etc.

Para su almacenamiento se colgaran caballetes o ganchos, para evitar la presencia de humedad y oxidación. En presencia de frío se cargará menos de lo indicado, sobre todo cuando la temperatura sea menor de  $0^{\circ}\text{C}$  y se lubricarán convenientemente con el tipo de grasa recomendada por el fabricante.

#### 2.5.2.16 ESLINGAS

Se empleará el tipo de eslinga en función del tipo de trabajo a ejecutar.

La resistencia de la eslinga varía en función del ángulo que forman los ramales entre sí. Cuanto mayor sea el ángulo, menor será la carga que pueda resistir. Como norma general no debe utilizarse un ángulo superior a  $90^{\circ}$ .

Habrà que comprobar el desgaste de las eslingas. Los nudos y las soldaduras disminuyen la resistencia de las eslingas. Se inspeccionará periódicamente y se sustituirán cuando se considere necesario. El almacenamiento se realizará sin estar en contacto con el suelo.

### 2.5.3. MEDIDAS PREVENTIVAS DE LA MAQUINARIA DE OBRA

Complementando a las medidas de carácter individual y colectivo, se deben tener en cuenta ciertas consideraciones acerca de la maquinaria empleada.

#### 2.5.3.1 CAMIÓN DE TRANSPORTE

Todos los camiones estarán en perfectas condiciones de mantenimiento y conservación.

Las operaciones de carga y descarga del material se efectuarán en los lugares señalados para tal efecto. Antes de iniciar las maniobras de carga y descarga se instalará el freno de mano y los calzos de inmovilización de las ruedas. Las operaciones de aparcamiento y salida de camiones serán dirigidas por un señalista, así como las operaciones de carga y descarga.

Las pistas interiores de circulación de camiones tendrán un ancho mínimo de 6m y una pendiente máxima del 12 % en tramos rectos y del 8 % en curvas. El colmo máximo permitido para materiales sueltos será con pendiente del 5 % debiendo protegerse la carga con una lona para evitar desplomes del mismo.

### 2.5.3.2 CAMIÓN GRÚA

Antes de realizar cualquier trabajo se instalarán los calzos inmovilizadores en las cuatro ruedas y los gatos estabilizadores. Las maniobras de carga y descarga serán dirigidas por un especialista en prevención de los riesgos. Los ganchos de cuelgue estarán dotados de pestillos de seguridad. Se prohíbe sobrepasar la carga máxima fijada por el fabricante del camión, en función del brazo de grúa.

Las rampas de acceso de los camiones grúa no sobrepasarán el 20 %. Se estacionarán a una distancia superior a 2 m del borde de cualquier corte en el terreno. Se prohíbe la permanencia de personas en torno al camión grúa a distancia inferiores a 5 m.

Nunca se situará ningún operario bajo una carga suspendida.

### 2.5.3.3 GRÚA AUTOTRANSPORTADA

Queda expresamente prohibido el estacionamiento y desplazamiento de la grúa autopropulsada a una distancia inferior a los 2 m del borde de las zanjas. En caso de ser necesaria una aproximación inferior a la citada se deberá entibar la zona de la zanja afectada por el estacionamiento del camión grúa, dotándose además al lugar de un tope firme y fuerte para la rueda trasera del camión, para evitar los deslizamientos y vuelcos de la máquina.

Para evitar los riesgos catastróficos, está previsto que el Encargado controle que la puesta en estación y servicio de la grúa autopropulsada se realiza siguiendo las instrucciones dadas por su fabricante. En consecuencia, controlará el cumplimiento de las siguientes condiciones técnicas:

- No se izarán cargas sin antes haber puesto en servicio los calzos hidráulicos de apoyo de la grúa.
- El gancho simple estará dotado de pestillo de seguridad.
- El gancho doble se usará estribando a ambos ganchos.
- Se vigilarán constantemente las variaciones posibles por fallo del firme durante las operaciones de carga y transporte de cargas suspendidas.
- Para evitar los riesgos catastróficos por maniobras erróneas, está previsto que las maniobras de carga, o de descarga, estarán siempre guiadas por un especialista, en previsión de los riesgos por maniobras incorrectas.

Para evitar el riesgo de caída de personas por maniobras peligrosas, se prohíbe expresamente caminar sobre el brazo telescópico de la grúa autopropulsada. Las maniobras de estacionamiento de la grúa autotransportada serán guiadas por un operario destinado a tal efecto al que se dotará de los elementos necesarios para la realización de estas labores.

La grúa estará correctamente estacionada, atendiendo de manera especial a los siguientes aspectos:

- La grúa estará perfectamente nivelada.
- Todos los gatos hidráulicos destinados a aumentar la base de apoyo de la grúa estarán desplegados en su totalidad.
- Ningún elemento de apoyo de la grúa estará cargando sobre algún elemento que presente debilidad estructural (tapas de arquetas de hormigón o fundición, zanjas recientemente abiertas o blandones del terreno) recabando de la propiedad información respecto alguna deficiencia de este estilo.
- Toda la zona de influencia de la grúa autopropulsada en sus movimientos estará libre de obstáculos. Además, ningún operario permanecerá en dicha zona, en especial en aquellas en las que el gruista no disponga de visibilidad.
- En el caso de que se invada la vía de circulación, se señalizará mediante la colocación de conos de balizamiento.

#### 2.5.3.4 COMPRESORES

- Se ubicarán en los lugares indicados para ello en la obra.
- El movimiento del compresor por parte de los operarios se efectuará a una distancia nunca inferior a 2 m del borde de cualquier corte del terreno.
- El transporte mediante eslingas se efectuará tomándolo de 4 puntos fijos del compresor.
- El compresor quedará en estación con la lanza de arrastre en posición horizontal, con las ruedas sujetas mediante tacos antideslizantes.
- Durante su empleo las carcasas permanecerán cerradas, para evitar atrapamientos y ruidos.
- La zona dedicada en obra para la ubicación del compresor quedará acordonada en un radio de 4 m, instalándose señales de “obligatorio el uso de protectores auditivos” para sobrepasar la distancia de 4 m.
- Los compresores a utilizar si no son silenciosos, se ubicarán a una distancia mínima de la zona de trabajo no inferior a 15 m.
- Las mangueras estarán siempre en perfectas condiciones de uso, sin grietas o desgastes.
- Los mecanismos de conexión o empalme estarán unidos a las mangueras mediante racores de presión según cálculo.
- No se pasará con vehículos por encima de las mangueras, elevándolas si se considera necesario.



#### 2.5.3.5 MOTORES ELÉCTRICOS

Estarán provistos de cubiertas permanentes u otros resguardos adecuados dispuestos de tal manera que prevengan el contacto de las personas u objetos a no ser que sean de tipo cerrado o estén instalados en altura no inferior a 3 m sobre el suelo o están en locales cerrados o exclusivos.

#### 2.5.3.6 APISONADORAS

- Antes de ponerlos en funcionamiento se revisará la colocación de todos sus elementos.
- Se evitarán los desplazamientos laterales.
- Las zonas en fase de compactación quedarán cerradas al paso mediante señalización.
- El personal que realice su manejo conocerá perfectamente su funcionamiento.

#### 2.5.3.7 HORMIGONERA ELÉCTRICA

Se situará en los lugares indicados para ello en la obra. Nunca se situarán distancias inferiores a 3 m del borde de la excavación. Las zonas donde se ubican quedan señalizadas mediante cinta o valla y una señal de peligro, así como un rótulo con la leyenda: “prohibido utilizar a personal no autorizado”.

Se dispondrá un camino de acceso fijo a la hormigonera para los dumpers, separado del camino de las carretillas manuales y se establecerá un entablado de un mínimo de 2 m de lado para superficie de estancia del operador de hormigoneras.

Estas hormigoneras estarán protegidas por una carcasa metálica para evitar el contacto con los operarios. Estarán dotadas de freno de basculamiento del bombo. La alimentación eléctrica se realizará de forma aérea a través del cuadro auxiliar, en combinación con la tierra y los disyuntores del cuadro general eléctrico. La botonera de mandos eléctricos será de accionamiento estanco. El cambio de ubicación de la hormigonera a gancho de grúa se efectuará mediante la utilización de un balancín que la suspenderá de cuatro puntos seguros.

El personal encargado del manejo de la hormigonera estará autorizado mediante acreditación escrita de la constructora.

#### 2.5.3.8 MÁQUINAS HERRAMIENTAS EN GENERAL

Se considerarán las pequeñas herramientas tales como taladros, rozadoras, cepilladora metálica, sierras, radiales, etc. Estas máquinas estarán protegidas por la carcasa y resguardos.

Las reparaciones o manipulaciones se realizarán paradas y por personal especializado. Si se encuentran averiadas se señalizarán con una señal de peligro: “No conectar, equipo averiado”. Las máquinas o herramientas con capacidad de corte tendrán el disco protegido mediante una carcasa antiproyecciones.

En ambientes húmedos, la alimentación de las máquinas no protegidas con doble aislamiento se realizará mediante conexión a transformadores de 24 V. Se prohíbe la utilización de estas herramientas por personal no especializado y no se dejarán herramientas de corte abandonadas en el suelo.

#### 2.5.3.9 INSTALACIONES PROVISIONALES

Los cuadros principales y de distribución irán provistos de protección magnetotérmica y de relé diferencial con base de enchufe y clavija de conexión. Cualquier máquina conectada a un cuadro principal o auxiliar se efectuará a través de una manguera siempre con hilo de tierra incorporado.

Los cuadros eléctricos permanecerán cerrados y señalizados y sólo serán manipulados por el personal especializado. Se situarán sobre patas soportes o colgarán pendientes de tableros de madera. Las tomas de tierra se realizarán mediante picas hincadas en el terreno. Los trabajos necesarios para la instalación o reparación se realizarán dejando la línea que alimenta ese cuadro sin tensión.

El cuadro de mando irá provisto de relés magnetotérmicos para cada línea de distribución. Como cabecera de cada línea dispondrá de un interruptor diferencial y sensibilidad igual a 30 mA para alumbrado y 300 mA para fuerza.

Cada toma de corriente alimentará a un único aparato, máquina o herramienta. Todos los conductores utilizados serán antihumedad y con aislamiento nominal de 1000 V como mínimo.

El tendido de mangueras se realizará a una altura de 2 m en lugares peatonales y de 5 m en los de vehículos. El tendido de cables para cruzar viales de obra se efectuará enterrado. Se señalizará el paso mediante una cubrición permanente de tablonos. Además, el cable irá protegido en el interior de un tubo rígido.

## 2.6. NORMAS DE ACTUACIÓN PREVENTIVA

### 2.6.1. SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

#### 2.6.1.1 OBLIGACIONES DE LAS PARTES IMPLICADAS

La empresa constructora estará obligada a cumplir las directrices en el Estudio de Seguridad a través de un Plan de Seguridad y Salud, coherente con los sistemas de ejecución que la misma vaya a utilizar. Además, tendrá que cumplir las estipulaciones previas del Estudio y el Plan de Seguridad y Salud, respondiendo solidariamente de los daños que se deriven de la infracción del mismo por su parte o de los posibles subcontratistas y empleados

La Dirección Facultativa considerará el Estudio de Seguridad como parte integrante de la ejecución de la obra, correspondiente a la aprobación, el control y la supervisión de la ejecución del Plan de Seguridad y Salud, autorizando previamente cualquier modificación en éste, dejando constancia escrita en el Libro de Incidencias.

#### 2.6.1.2 MEDIDAS PREVENTIVAS AL INICIO DE LOS TRABAJOS

Antes de comenzar a realizar los trabajos, el método de instalación y trabajo a seguir y los circuitos de circulación que afecten a la obra deberán estar aprobados por la Dirección Facultativa. Será necesario realizar un estudio de acondicionamiento de las zonas de trabajo para prever la colocación de plataformas, torres de paso y formas de acceso, y poderlos emplear de forma conveniente.

El personal estará instruido sobre la utilización correcta de los equipos de protección individual para la realización de su trabajo. En los riesgos puntuales y esporádicos de caída de altura se emplearán obligatoriamente el cinturón de seguridad, ante la imposibilidad de disponer de la adecuada protección colectiva o de la insistencia de regulación con respecto a la integración de la seguridad en el proyecto de ejecución.

#### 2.6.1.3 MEDIDAS DURANTE LA REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

Durante la realización del trabajo, las zonas de trabajo y circulación deberán permanecer limpias, ordenadas y bien iluminadas. Las herramientas y máquinas estarán en perfecto estado, empleándose las más adecuadas para cada uso, siendo utilizadas por personal autorizado o experto a criterio del encargado de la obra.

Los elementos de protección colectiva permanecerán en todo momento instalados y en perfecto estado de mantenimiento, siendo necesario reponerlos en caso de rotura o deterioro. Además, la señalización será revisada a diario de forma que en todo momento permanezca actualizada a las condiciones reales de trabajo.

#### 2.6.1.4 PROTECCIONES PERSONALES

Durante la ejecución de todos aquellos trabajos que conlleven un riesgo de proyección de partículas, se establecerá la obligatoriedad de uso de gafas de seguridad. Así mismo, en aquellos trabajos que se desarrollen en entornos con niveles de ruidos superiores a los permitidos por la normativa vigente, se deberán emplear protectores auditivos homologados según Norma Técnica MT-2. La totalidad del personal que desarrolle trabajos en el interior de la obra utilizará cascos protectores que cumplan las especificaciones indicadas en la norma Técnica MT-1 de Cascos de Seguridad.

Durante la ejecución de todos aquellos trabajos que se desarrollen en ambientes de humos de soldadura, se facilitará a los operarios mascarillas respiratorias con filtro mecánico y de carbono activo contra humos metálicos.

Como medida preventiva frente a golpes en extremidades inferiores, se dotará al personal de botas de seguridad adecuadas. Además, todos los operarios utilizarán cinturón de seguridad dotado de arnés en aquellas operaciones en las que se realicen trabajos en altura.

#### 2.6.1.5 ORGANIZACIÓN GENERAL DE SEGURIDAD EN OBRA

En las obras cuyo número de trabajadores exceda de 25 debe constituirse un Comité de Seguridad y Salud formado por un técnico cualificado en materia de seguridad y que representa a la Dirección de la Empresa, dos trabajadores pertenecientes a las categorías profesionales o de oficio que más intervengan a lo largo del desarrollo de la obra, y un Vigilante de Seguridad, elegido por sus conocimientos y competencia profesional en materia de Seguridad y Salud.

Las funciones de este Comité serán las reglamentarias estipuladas en el artículo 8º de la Ordenanza General de Seguridad en el Trabajo.

#### 2.6.1.6 OBLIGACIONES GENERALES DEL VIGILANTE DE SEGURIDAD

- Promover el interés y cooperación de los trabajadores en materia de seguridad.
- Comunicar a la Dirección Facultativa o Jefatura de Obra las situaciones de riesgo detectadas y la prevención adecuada.
- Examinar las condiciones relativas al orden limpieza, ambiente, instalaciones y máquinas con referencia a la detección de riesgos profesionales.
- Prestar los primeros auxilios a los accidentados.
- Conocer con detalle el Plan de Seguridad y Salud de la obra.
- Colaborar en la investigación de los accidentes.

#### 2.6.1.7 OBLIGACIONES ESPECÍFICAS DEL VIGILANTE DE SEGURIDAD

- Controlar la observancia de las normas de seguridad.
- Dirigir la puesta en obra de las unidades de seguridad.
- Efectuar las mediciones de la obra ejecutada en el capítulo de seguridad.
- Dirigir las cuadrillas de seguridad.
- Redactar los partes de accidente.
- Controlar las existencias y acopios del material de seguridad.
- Revisar la obra diariamente para detectar las posibles deficiencias en materia de seguridad.
- Controlar las autorizaciones de manejo de maquinaria.

El nombramiento del Comité de Seguridad, en su caso, quedaría reflejado en un acta, debiendo entregarse copia de la misma a la Dirección Facultativa.

##### Parte de accidente y deficiencias:

Respetándose cualquier modelo normalizado que pudiera ser de uso normal en la práctica del contratista, los partes de accidente y deficiencias observadas recogerán como mínimo los datos expuestos a continuación, con una tabulación ordenada.

- Identificación de la obra.
- Día, mes y año en que se ha producido el accidente.
- Hora de producción del accidente.
- Nombre del accidentado, categoría profesional y oficio del accidentado.
- Domicilio del accidentado.
- Lugar en el que se produjo el accidente.
- Causas del accidente.
- Importancia aparente del accidente.
- Posible especificación sobre fallos humanos.
- Lugar, persona y forma de producirse la primera cura (médico, practicante, socorrista, personal de obra).
- Lugar de traslado para hospitalización
- Testigos del accidente

Parte de deficiencias:

- Identificación de la obra.
- Fecha en que se ha producido la observación.
- Lugar en el que se ha hecho la observación.
- Informe sobre la deficiencia observada.
- Plan de mejora de la deficiencia en cuestión.

## 2.6.2. MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS AUXILIOS

### 2.6.2.1 BOTIQUÍN DE PRIMEROS AUXILIOS

Se prevé la atención primaria a los accidentados mediante el uso de botiquines de primeros auxilios, manejados por personal competente. Contendrán el material especificado en la Ordenanza General de seguridad y Salud en el Trabajo. Serán revisados mensualmente y se repondrá de inmediato el material consumido.

### 2.6.2.2 RECONOCIMIENTO MÉDICO

Con el fin de lograr evitar en lo posible las enfermedades profesionales en la obra, así como los accidentes derivados de los trastornos físicos, psíquicos, alcoholismo y resto de las toxicomanías peligrosas, se prevé que el Contratista y los Subcontratistas, en cumplimiento de la legislación laboral vigente, realicen los reconocimientos médicos previos a la contratación de los trabajadores de la obra y los preceptivos de ser realizados al año de su contratación, y que asimismo, exija puntualmente este cumplimiento, al resto de las empresas que sean subcontratadas por cada uno de ellos para la obra.

En los reconocimientos médicos, además de las exploraciones competencia de los facultativos, se detectará lo oportuno para garantizar que el acceso a los puestos de trabajo se realice en función de la aptitud o limitaciones físico-psíquicas de los trabajadores como consecuencia de los reconocimientos efectuados.

### 2.6.2.3 EVACUACIÓN DE ACCIDENTADOS

La evacuación de accidentados, que por sus lesiones lo requieran, está prevista mediante la contratación de un servicio de ambulancias, que el Contratista definirá exactamente a través de su plan de seguridad y salud.

La dirección y teléfono del Centro de Urgencias asignado estarán expuestos en un lugar visible para una rápida y efectiva asistencia a los accidentados.

#### 2.6.2.4 INSTALACIONES DE HIGIENE Y BIENESTAR

Considerando el número previsto de operarios, se dispondrá de vestuarios y servicios higiénicos debidamente dotados. El vestuario dispondrá de taquillas individuales, con llave y asientos.

El agua potable que se suministra a los distintos servicios será procedente de la red general de abastecimiento que exista en la zona. Los servicios higiénicos dispondrán de un lavabo y una ducha con agua fría y caliente para cada diez trabajadores, y dos W.C. por cada veinticinco trabajadores, disponiendo de espejos y calefacción. Los lavabos se instalarán en un número suficiente, lo más cerca posible de los retretes.

La limpieza y conservación de estos locales serán efectuadas por un trabajador con la dedicación necesaria, o por un servicio de limpieza ajeno.

El número de instalaciones sanitarias y la construcción e instalación de letrinas, retretes estarán provistos de un sistema de descarga automática de agua o tratamiento químico; las tuberías y demás elementos de las instalaciones sanitarias, deberán ajustarse a las prescripciones de las autoridades competentes. Las duchas y lavabos no deben utilizarse para ningún otro fin.

#### 2.6.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Las herramientas, máquinas y medios auxiliares deben disponer del sello de “Seguridad Comprobada (GS), certificado de AENOR u otro organismo equivalente de carácter internacional reconocido, o un certificado del fabricante, responsabilizándose de la calidad de los equipos y herramientas destinadas para su utilización en la obra. Periódicamente se revisará la instalación eléctrica provisional de la obra corrigiendo los defectos de aislamiento y comprobándose las protecciones diferenciales y la toma de tierra.

En las máquinas eléctricas portátiles, el usuario revisará diariamente los cables de alimentación y conexiones, así como el correcto funcionamiento de sus protecciones. Las herramientas manuales serán revisadas diariamente, reparándose o sustituyéndose cuando su estado denote un mal funcionamiento o represente un peligro para el usuario.

#### 2.6.4. PLAN DE EMERGENCIA

El Plan de Emergencia es un documento que establece los procedimientos de actuación en caso de accidente en la planta. En este documento se analizan los riesgos de la planta y se darán todos los procedimientos con nombramiento de las personas implicadas, además del plan de evacuación, punto de encuentro y avisos a organismos.

Esto permitirá una buena organización ante posibles situaciones de emergencia que se produzcan en la planta, además de minimizar las consecuencias.

#### 2.6.5. PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD

El contratista está obligado a redactar un Plan de Seguridad y Salud adaptándose a este Estudio de Seguridad y Salud. Este Plan será remitido a la Administración con un informe favorable del Coordinador en materia de Seguridad y Salud para su aprobación.

Antes de comenzar las obras, el Adjudicatario comunicará por escrito a la Dirección Facultativa el nombre del máximo responsable entre el personal que se encuentre habitualmente en obra, quien tendrá en su poder una copia del Plan de Seguridad y Salud que se elabore.

El Plan de Seguridad a presentar para su aprobación por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud debe incluir específicamente un Plan de emergencia en el que se detallen las actuaciones a desarrollar en el caso de un accidente o incendio.

Cuando tenga lugar algún accidente que precise asistencia facultativa, aunque sea leve y la asistencia médica se reduzca en una primera cura, se realizará una investigación del mismo y además de los trámites oficialmente establecidos, se pasará como muy tarde dentro del día siguiente al accidente, un informe a la Dirección Facultativa de la obra en el que se especifique:

Nombre del accidentado.

- Día, hora y lugar del accidente.
- Descripción del mismo.
- Causas del accidente.
- Medidas preventivas para evitar su repetición.
- Fechas límite para la adopción de medidas preventivas.

La Dirección Facultativa podrá aprobar este informe o exigir la adopción de medidas complementarias no indicadas en el mismo.



#### 2.6.6. LIBRO DE INCIDENCIAS

En cada centro de trabajo existirá, con fines de control y seguimiento del Plan de Seguridad y Salud, un Libro de Incidencias que constará de hojas por duplicado y que será facilitado por el Colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el Plan de Seguridad y Salud.

Deberá mantenerse siempre en obra y en poder del Coordinador. Tendrán acceso al Libro, la Dirección Facultativa, los contratistas y subcontratistas, los trabajadores autónomos, las personas con responsabilidades en materia de prevención de las empresas intervinientes, los representantes de los trabajadores, y los técnicos especializados de las Administraciones públicas competentes en esta materia, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo.

#### 2.6.7. CONCLUSIONES

Con todo lo descrito en los documentos que integran el presente Estudio de Seguridad y Salud, quedan definidas las medidas de prevención que inicialmente se consideran necesarias para la ejecución de las distintas unidades de obra que conforman la planta.

Si se realizase alguna modificación, o se modificara algún sistema constructivo de los aquí previstos, es obligado constatar las interacciones de ambas circunstancias en las medidas de prevención contenidas en el presente Estudio de Seguridad y salud, debiéndose redactar, en su caso, las modificaciones necesarias.

---

# DOCUMENTO V: PRESUPUESTO

---

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOOCTANO

# ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
2.	COSTE DE EQUIPOS .....	4
2.1.	Estimación de los costes .....	4
3.	PRESUPUESTOS PARCIALES .....	7
3.1.	Obra civil .....	8
3.2.	Equipos mecánicos .....	9
3.3.	Instalación eléctrica .....	10
3.4.	Instrumentación y control .....	11
3.5.	Tuberías y accesorios .....	12
3.6.	Seguridad y salud .....	13
3.7.	Costes indirectos .....	14
4.	PRESUPUESTO TOTAL .....	15

## 1. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta la función de establecer un presupuesto orientativo de la planta de producción de isooctano, sin comprometer legalmente en cuanto a la medición ni a los precios. Por tal motivo, su valor contractual es mínimo, por lo que se elabora para contrarrestar, posteriormente, la calidad del proyectista y no para garantizar el coste al cliente.

Para proceder a la determinación final del presupuesto, se valoran los siguientes factores:

- Compra de los equipos presentes en la planta, su traslado e instalación.
- Obra civil y estructura metálica: comprende el movimiento de tierra, cimentaciones, edificios y solares, materiales y maquinaria, montaje y mano de obra.
- Instalaciones eléctricas: incluyendo la instalación de los cables y equipos eléctricos necesarios y su montaje.
- Instrumentación y control: materiales, equipos de control y su programación y montaje.
- Tuberías: abarca la instalación, aislamiento y pintado de las tuberías y los accesorios.
- Seguridad y salud: abarca todo lo relacionado con los equipos de protección, tanto a nivel individual como colectivo, las instalaciones de higiene y bienestar, medicina preventiva, primeros auxilios, formación y sistemas de protección contra incendios.
- Costes indirectos: constituidos por las contingencias y el capital circulante.

## 2. COSTE DE EQUIPOS

### 2.1. ESTIMACIÓN DE LOS COSTES

Los diferentes factores comentados anteriormente se estiman como un porcentaje en relación al coste de los equipos. Por ello, para la elaboración del presupuesto, se procede a estimar el precio de cada uno de los equipos presentes en la planta de producción de isooctano. Con tal finalidad, se utiliza el método factorial, basado en la ecuación (2.1).

$$C_E = C_B \left( \frac{Q}{Q_B} \right)^M f_M f_P f_T \quad (2.1)$$

Donde  $C_E$  es el coste de un equipo con capacidad  $Q$ ,  $C_B$  es el coste base de un equipo con capacidad  $Q_B$ ,  $M$  es una constante dependiente del equipo y  $f_M$ ,  $f_P$  y  $f_T$  son los factores de corrección en función del material, la presión y la temperatura, respectivamente, determinados con las Tabla 2.1, Tabla 2.2 y Tabla 2.3.

Por tanto, se establece el coste de los equipos como la suma de cada uno de ellos obtenidos según la (2.1) y se le aplican los porcentajes correspondientes a las partidas comentadas anteriormente obteniendo así el presupuesto de la planta. La precisión de esta estimación varía en función del grado de conocimiento de los datos de diseño. En esta ocasión este cálculo aproximado y se le atribuye un nivel de definición del proyecto comprendido entre el 30 y el 70 % por lo cual el presupuesto se clasifica como Clase 2.

Tabla 2.1. Factor de corrección del material

Material	Correction factor $f_M$
Carbon steel	1.0
Aluminum	1.3
Stainless steel (low grades)	2.4
Stainless steel (high grades)	3.4
Hastelloy C	3.6
Monel	4.1
Nickel and inconel	4.4
Titanium	5.8

Tabla 2.2. Factor de corrección de la temperatura

Design temperature (°C)	Correction factor $f_T$
0–100	1.0
300	1.6
500	2.1

Tabla 2.3. Factor de corrección de la presión

Design pressure (bar absolute)	Correction factor $f_P$
0.01	2.0
0.1	1.3
0.5 to 7	1.0
50	1.5
100	1.9

Tabla 2.4. Factores para la estimación del coste de los equipos

Equipment	Material of construction	Capacity measure	Base size $Q_B$	Base cost $C_B$ (\$)	Size range	Cost exponent $M$
Agitated reactor	CS	Volume ( $m^3$ )	1	$1.15 \times 10^4$	1–50	0.45
Pressure vessel	SS	Mass (t)	6	$9.84 \times 10^4$	6–100	0.82
Distillation column (Empty shell)	CS	Mass (t)	8	$6.56 \times 10^4$	8–300	0.89
Sieve trays (10 trays)	CS	Column diameter (m)	0.5	$6.56 \times 10^3$	0.5–4.0	0.91
Valve trays (10 trays)	CS	Column diameter (m)	0.5	$1.80 \times 10^4$	0.5–4.0	0.97
Structured packing (5 m height)	SS (low grade)	Column diameter (m)	0.5	$1.80 \times 10^4$	0.5–4.0	1.70
Scrubber (Including random packing)	SS (low grade)	Volume ( $m^3$ )	0.1	$4.92 \times 10^3$	0.1–20	0.53
Cyclone	CS	Diameter (m)	0.4	$1.64 \times 10^3$	0.4–3.0	1.20
Vacuum filter	CS	Filter area ( $m^2$ )	10	$8.36 \times 10^4$	10–25	0.49
Dryer	SS (low grade)	Evaporation rate ( $kg\ H_2O \cdot h^{-1}$ )	700	$2.30 \times 10^5$	700–3000	0.65
Shell-and-tube heat exchanger	CS	Heat transfer area ( $m^2$ )	80	$3.28 \times 10^4$	80–4000	0.68
Air-cooled heat exchanger	CS	Plain tube heat transfer area ( $m^2$ )	200	$1.56 \times 10^5$	200–2000	0.89
Centrifugal pump (Small, including motor)	SS (high grade)	Power (kW)	1	$1.97 \times 10^3$	1–10	0.35
Centrifugal pump (Large, including motor)	CS	Power (kW)	4	$9.84 \times 10^3$	4–700	0.55
Compressor (Including motor)		Power (kW)	250	$9.84 \times 10^4$	250–10,000	0.46
Fan (Including motor)	CS	Power (kW)	50	$1.23 \times 10^4$	50–200	0.76
Vacuum pump (Including motor)	CS	Power (kW)	10	$1.10 \times 10^4$	10–45	0.44
Electric motor		Power (kW)	10	$1.48 \times 10^3$	10–150	0.85
Storage tank (Small atmospheric)	SS (low grade)	Volume ( $m^3$ )	0.1	$3.28 \times 10^3$	0.1–20	0.57
Storage tank (Large atmospheric)	CS	Volume ( $m^3$ )	5	$1.15 \times 10^4$	5–200	0.53
Silo	CS	Volume ( $m^3$ )	60	$1.72 \times 10^4$	60–150	0.70
Package steam boiler (Fire-tube boiler)	CS	Steam generation ( $kg \cdot h^{-1}$ )	50,000	$4.64 \times 10^5$	50,000–350,000	0.96
Field erected steam boiler (Water-tube boiler)	CS	Steam generation ( $kg \cdot h^{-1}$ )	20,000	$3.28 \times 10^5$	10,000–800,000	0.81
Cooling tower (Forced draft)		Water flowrate ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	10	$4.43 \times 10^3$	10–40	0.63

CS = carbon steel; SS (low grade) = low-grade stainless steel, for example, type 304; SS (high grade) = high-grade stainless steel, for example, type 316

Comentar que el precio de los equipos presenta una variabilidad con el tiempo por lo que, teniendo en cuenta que la Tabla 2.4 fue elaborada en el año 2000 se aplica un factor de corrección de valor 1,4 para adaptar los precios al año actual según los *Chemical Engineering Plant Cost Index 2017*.

Con todo ello, se presenta en la Tabla 2.5 el coste total de los equipos.

Tabla 2.5. Coste total de los equipos

<b>Equipo</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio (€)</b>
Tanque TK-101	2	93.094
Tanque TK-102	1	87.241
Tanque de mezcla TM-101	2	140.578
Intercambiador EX-101	1	43.174
Reactor R-201	1	496.729
Bomba P-201	2	9.482
Tanque TK-202	1	104.769
Compresor C-301	1	99.635
Condensador EX-301	1	40.780
Bomba P-301	2	55.557
Intercambiador EX-302	1	18.698
Intercambiador EX-303	1	9.284
Intercambiador EX-304	1	18.367
Intercambiador EX-305	1	37.529
Intercambiador EX-306	1	29.958
Columna de destilación T-301	1	46.078
10 platos perforados	2	24.468
Tanque TK-301	1	7.789
Bomba P-302	2	36.702
Turbina TB-301	1	78.987
Bomba P-401	2	54.227
Intercambiador EX-401	1	17.984
Intercambiador EX-402	1	16.951
Intercambiador EX-403	1	186.806
Intercambiador EX-404	1	256.809
Columna de destilación T-401	1	461.422
10 platos perforados	6	519.472
Tanque TK-401	1	143.245
Bomba P-402	2	24.468
<b>TOTAL(€)</b>		<b>3.160.284</b>

### 3. PRESUPUESTOS PARCIALES

A continuación, se determina el presupuesto total de la planta teniendo en cuenta los siguientes porcentajes para las diferentes partidas presentado en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Presupuesto parciales

<b>Partida</b>	<b>Coste</b>
<b>Compra de equipos</b>	X
<b>Traslado e instalación</b>	0,4X
<b>Obra civil</b>	0,3X
<b>Instalaciones eléctricas</b>	0,2X
<b>Instrumentación y control</b>	0,3X
<b>Tuberías y accesorios</b>	0,67X
<b>Seguridad y salud</b>	0,01X
<b>Costes indirectos</b>	
<b>Contingencias</b>	0,2X
<b>Capital circulante</b>	1,88X



### 3.1. OBRA CIVIL

Tabla 3.2. Presupuesto parcial N°1

Ítem	Medición	Descripción	Importe (€)
1.1	-	La obra civil incluye:	
		- Movimiento de tierras	
		- Cimentaciones	
		- Edificios y solares	
		- Materiales y maquinaria	
		- Montaje	
		- Mano de obra	
Total Presupuesto Parcial N°1 (€)			948.085

### 3.2. EQUIPOS MECÁNICOS

Tabla 3.3. Presupuesto parcial N°2

Ítem	Medición	Descripción	Importe (€)
Los equipos mecánicos incluyen:			
2.1	Partida alzada	- Compra de los equipos	3.160.283
		- Entrega de los equipos	316.028
		- Instalación de los equipos	948.085
Total Presupuesto Parcial N°2 (€)			4.424.397

### 3.3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Tabla 3.4. Presupuesto parcial N°3

Ítem	Medición	Descripción	Importe (€)
Las instalaciones eléctricas incluyen:			
3.1	Partida alzada	- Cableado y materiales	
		- Montaje	
		- Aislamiento	
Total Presupuesto Parcial N°3 (€)			632.057

### 3.4. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Tabla 3.5. Presupuesto parcial N°4

Ítem	Medición	Descripción	Importe (€)
Instrumentación y control incluyen:			
4.1	Partida alzada	- Materiales	
		- Equipos	
		- Montaje	
		- Programación	
Total Presupuesto Parcial N°4 (€)			948.085

### 3.5. TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Tabla 3.6. Presupuesto parcial N°5

Ítem	Medición	Descripción	Importe (€)
Las tuberías incluyen:			
5.1	Partida alzada	- Tuberías	1.896.170
		- Accesorios	
		- Instalación	
Aislamientos incluye:			
5.2	Partida alzada	- Aislamiento	221.220
		- Pintura	
Total Presupuesto Parcial N°5 (€)			2.117.390

### 3.6. SEGURIDAD Y SALUD

Tabla 3.7. Presupuesto parcial N°6

Ítem	Medición	Descripción	Importe (€)
		Los aislamientos incluyen:	
		- Equipos de protección individual	
		- Equipos de protección colectiva	
6.1	Partida alzada	- Instalaciones de higiene y bienestar	
		- Medicina preventiva y primeros auxilios	
		- Formación	
		- Sistema de protección contra incendios	
Total Presupuesto Parcial N°6 (€)			31.603

### 3.7. COSTES INDIRECTOS

Tabla 3.8. Presupuesto parcial N°7

Ítem	Medición	Descripción	Importe (€)
Los costes indirectos incluyen:			
7.1	Partida alzada	- Contingencias	632.057
7.2	Partida alzada	- Capital circulante	973.367
Total Presupuesto Parcial N°7 (€)			1.605.424

## 4. PRESUPUESTO TOTAL

El presupuesto total de la Planta de Producción de Isooctano se presenta en la Tabla 4.1, como resultado de la suma de los presupuestos parciales calculados en los apartados anteriores.

Tabla 4.1. Presupuesto total de la planta

<b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ISOCTANO</b>	
<b>Ítem</b>	<b>Importe (€)</b>
1. Obra civil	948.085
2. Equipos mecánicos	4.424.397
3. Instalación eléctrica	632.056
4. Instrumentación y control	948.085
5. Tuberías y accesorios	2.117.390
6. Seguridad y salud	31.603
7. Costes indirectos	1.605.424
<b>TOTAL</b>	<b>10.707.041</b>

El presupuesto total de la Planta de Producción de Isooctano asciende a la cantidad de **DIEZ MILLONES SETECIENTOS SIETE MIL CUARENTA Y UN EUROS**.

Santiago de Compostela, julio de 2017

El autor del proyecto,

Samuel Fragua Somoza